

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:**  
**DESARROLLO DE UN MÓDULO LECTOR BRAILLE ELECTRÓNICO**  
**PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL ORIENTADO A**  
**PORTABILIDAD Y ERGONOMÍA**

**AUTOR:**  
**PABLO ANDRÉS MONTALVO AGUILAR**

**TUTOR:**  
**HAMILTON LEONARDO NÚÑEZ VERDEZOTO**

**Quito, marzo del 2021**

## DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Pablo Andrés Montalvo Aguilar, con documento de identificación N° 172049291-5 respectivamente, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: Desarrollo de un módulo lector braille electrónico para personas con discapacidad visual orientado a portabilidad y ergonomía, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, marzo 2021



---

Pablo Andrés Montalvo Aguilar

Cédula: 1720492915

## **DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el proyecto técnico, Desarrollo de un módulo lector braille electrónico para personas con discapacidad visual orientado a portabilidad y ergonomía, realizado por, Pablo Andrés Montalvo Aguilar obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, marzo 2021



---

Hamilton Leonardo Núñez Verdezoto

Cédula de identidad: 1712981487

## DEDICATORIA

Este proyecto de titulación se lo quiero dedicar principalmente a mis padres quienes me dieron la vida, y quienes cada día me han dado el apoyo incondicional sin dejar de creer nunca en mí. También se lo quiero dedicar a mi hermano y hermana que siempre me han apoyado y a quienes puede acudir por consejo en cualquier momento

También quiero dedicar este proyecto de titulación a mi pareja que ha estado a mi lado en cada momento, sin dejar que me de por vencido en ningún momento. En general se lo dedico a toda mi familia que siempre a estado en las buenas y malas. Mis abuelitos, mis tíos, mis primos, mis primas, a mi pequeña ahijada, quienes son mi inspiración esto es para todos ustedes.

Por último, y sin quitar importancia a mis maestros quienes cada uno a su manera se encargaron de encaminarme y enseñarme todo lo necesario para crecer personal y profesionalmente.

***Pablo***



## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer principalmente a mis padres, quienes se han esforzado cada día para poder brindarme la educación, quienes siempre serán mis modelos a seguir y quienes me han apoyado para de este modo poder culminar mis estudios. También quiero agradecer a mis abuelos quienes son la razón que me motiva a seguir adelante, agradecer también a mis hermanos por siempre estar a mi lado.

Al ingeniero Hamilton Leonardo Núñez Verdezoto por su apoyo, brindarme sus conocimientos y guiarme no solo a lo largo de la carrera sino en el desarrollo del presente proyecto de titulación.

Finalmente, agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana por formarme como un profesional con excelentes valores y principios.

***Pablo***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR .....</b>	<b>ii</b>
<b>DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR .....</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>v</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
1.1 PROBLEMA DE ESTUDIO .....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	1
1.3 OBJETIVOS .....	2
1.3.1 Objetivo General .....	2
1.3.2 Objetivos Específicos .....	2
1.4 METODOLOGÍA .....	2
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>3</b>
<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....</b>	<b>3</b>
2.1 DISCAPACIDAD .....	3
2.1.1 Discapacidad Visual .....	4
2.2 SISTEMA BRAILLE.....	5
2.2.1 Lectura en braille.....	6
2.3 LIBROS EN BRAILLE .....	8
2.4 DISPOSITIVOS BRAILLE ELECTRÓNICOS .....	8
2.4.1 Smart Beetle HIMS .....	9
2.4.2 QBraille XL .....	9
2.4.3 BraiBook .....	10
2.4.4 Lector portátil basado en Raspberry Pi .....	11
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>12</b>
<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN .....</b>	<b>12</b>
3.1 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE.....	12
3.2 ELECCIÓN DE ELEMENTOS QUE COMPONEN EL HARDWARE .....	13
3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL HARDWARE .....	15
3.3.1 Arduino Nano .....	15
3.3.2 Módulo de Interfaz tarjeta SD .....	17

3.3.3 Módulo conversor DC/DC de 5/200 [V] .....	18
3.3.4 Celdas Braille .....	19
3.3.5 Diseño de placa PCB .....	20
3.4 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA .....	22
3.5 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE .....	25
3.5.1 Reconocimiento y manejo de datos de la tarjeta SD .....	27
3.5.2 Interrupciones para el control del texto .....	28
3.5.3 Control de la memoria no volátil EEPROM .....	30
3.5.4 Texto a braille y control de celdas.....	30
3.6 INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA.....	31
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>32</b>
<b>PRUEBAS Y RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
4.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS LABORATORIO .....	32
4.1.1 Tiempo de respuesta del Módulo Lector Braille .....	32
4.1.2 Consumo energético del Módulo Lector Braille .....	33
4.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DE CAMPO .....	34
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>42</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>42</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	42
5.2 RECOMENDACIONES .....	43
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>47</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura2. 1 Distribución lineal de los términos que recoge la CIDMM .....	3
Figura2. 2 Ejemplos de correlación, según la CIDDM.....	4
Figura2. 3 Alfabeto Braille .....	5
Figura2. 4 Parámetros dimensionales del braille .....	6
Figura2. 5 Ejemplo del Tamaño que presentan los libros braille .....	8
Figura2. 6 Smart Beetle HIMS .....	9
Figura2. 7 QBraille XL .....	10
Figura2. 8 BraiBook .....	11
Figura2. 9 Lector portátil basado en Raspberry Pi .....	11
Figura3. 1 Diseño del Hardware, Software e Interfaz Humano-Maquina del Módulo .....	12
Figura3. 2 Diagrama de conexión módulo lector .....	13
Figura3. 3 Arduino Nano .....	16
Figura3. 4 Pines de conexión Arduino Nano .....	17
Figura3. 5 Módulo de Interfaz tarjeta SD .....	18
Figura3. 6 Tamaños de memorias.....	18
Figura3. 7 Convertidor DC-DC 5V/200V .....	19
Figura3. 8 Celdas Braille B11 .....	19
Figura3. 9 Circuito en Proteus .....	21
Figura3. 10 PCB para el módulo lector .....	22
Figura3. 11 Modelado en 3D de los Elementos del Módulo Lector.....	22
Figura3. 12 Modelado en 3D de los Elementos del Módulo Lector.....	23
Figura3. 13 Modelado en la Carcasa del Módulo lector.....	24
Figura3. 14 Modelado en la Carcasa del Módulo lector.....	24
Figura3. 15 Carcasa del módulo lector Braille .....	25
Figura3. 16 Diagrama del funcionamiento de la lectura y traducción del texto .....	26
Figura3. 17 Etapas del Módulo Lector Braille .....	27
Figura3. 18 Diagrama de flujo del funcionamiento del módulo SD.....	28
Figura3. 19 Diagrama de flujo del funcionamiento de las interrupciones.....	29
Figura3. 20 Conversión de Texto a Braille.....	31
Figura4. 1 Representación porcentual .....	35
Figura4. 2 Representación porcentual .....	35
Figura4. 3 Representación porcentual .....	36
Figura4. 4 Representación porcentual .....	36

Figura4. 5 Representación porcentual .....	37
Figura4. 6 Representación porcentual .....	37
Figura4. 7 Representación porcentual .....	38
Figura4. 8 Representación porcentual .....	38
Figura4. 9 Representación porcentual .....	39
Figura4. 10 Representación porcentual .....	39
Figura4. 11 Representación porcentual .....	40
Figura4. 12 Representación porcentual .....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla2. 1 Rango de medidas de los parámetros dimensionales del Braille .....	6
Tabla3. 1 Tabla comparativa tipos de microcontroladores.....	13
Tabla3. 2 Tabla comparativa tipos de memorias externas.....	14
Tabla3. 3 Tabla comparativa tipos de celdas braille.....	15
Tabla3. 4 Características Arduino Nano.....	16
Tabla3. 5 Características del módulo de Interfaz tarjeta SD .....	18
Tabla3. 6 Características convertidor DC-DC 5V/200V .....	19
Tabla3. 7 Características celdas braille b11.....	20
Tabla3. 8 Datos para cálculo de ancho placa PCB .....	20
Tabla4. 1 Tiempos de respuesta.....	32
Tabla4. 2 Consumo de corriente y potencia del módulo lector braille en distintas pruebas .....	33
Tabla4. 3 Porcentaje de Aceptación del módulo lector braille .....	41

## **RESUMEN**

En la actualidad el lenguaje braille, es una forma de comunicación que permite a las personas con discapacidad visual, no solo leer y escribir, sino también desenvolverse de mejor manera en la sociedad, sin embargo, en cuanto a lo que es lectura se refiere, surgen unas series de complicaciones que van desde el tamaño que pueden llegar a tener los textos en braille, hasta la escasa producción de los mismos, limitando así en gran medida el desarrollo de la lectura en braille. De esta forma es que se desarrolló el módulo lector braille, el cual consta de un sistema que permitirá a las personas con discapacidad visual desarrollar la lectura en braille de cualquier texto que ellos deseen, este módulo funciona por medio de celdas braille que se encargaran de traducir e interpretar el texto digital en formato braille, esto permitirá al usuario no solo la lectura, sino que a su vez incentivara a las practica y el aprendizaje del lenguaje braille. Este módulo lector braille brindara al usuario un completo control sobre el texto que se está traduciendo, permitiendo así al usuario avanzar o retroceder sobre el mismo a la velocidad que mejor se adapte a él. Además, este módulo basa su diseño en la portabilidad y ergonomía, buscando convertirse en un aparato electrónico el cual se pueda llevar a todas partes con la mayor facilidad y comodidad.

Palabras clave: Celdas Braille, lenguaje braille, portabilidad, ergonomía, módulo

## **ABSTRACT**

Currently, braille language is a form of communication that allows people with visual disabilities, not only to read and write, but also to function better in society, however, as far as reading is concerned, A series of complications arise, ranging from the size that Braille texts can have, to their limited production, thus greatly limiting the development of Braille reading. In this way, the braille reader module was developed, which consists of a system that will allow people with visual disabilities to develop braille reading of any text that they wish, this module works through braille cells that will be in charge of translate and interpret the digital text in braille format, this will allow the user not only to read, but also to encourage the practice and learning of the braille language. This braille reader module will provide the user with complete control over the text that is being translated, thus allowing the user to move forward or backward over it at the speed that best suits them. In addition, this module bases its design on portability and ergonomics, seeking to become an electronic device which can be carried everywhere with the greatest ease and comfort.

Keywords: Braille cells, braille language, portability, ergonomics, module



## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de titulación tiene como objetivo principal el desarrollo de un módulo lector braille electrónico para personas con discapacidad visual el cual este basado en la portabilidad y ergonomía permitiendo un fácil acceso a todo tipo de textos digitales en cualquier momento y lugar.

En el capítulo 1, se encuentra detallado el alcance que tendrá el módulo lector braille, esto se da mediante los objetivos planteados, además se describe el problema de estudio, la justificación del proyecto técnico y las metodologías que se aplicaron en el mismo

En el capítulo 2, se detalla la fundamentación teórica para el desarrollo del proyecto técnico, se realizará una investigación sobre la discapacidad visual, sobre el lenguaje braille también se realizará un estudio acerca de los dispositivos braille electrónicos ya existentes.

En el capítulo 3, se detalla la estructura de cada componente a utilizar en el módulo lector braille, además de detallar el diseño de la estructura que posee el módulo, también se incluye los diagramas de flujo, ecuaciones, y programación del microcontrolador.

En el capítulo 4, se detalla las pruebas que se realizaron en el módulo lector braille para determinar su desempeño, así como determinar si este cumple con las condiciones de portabilidad y ergonomía planteadas en el proyecto

En el capítulo 5, se detallará las conclusiones y recomendaciones obtenidas en función las pruebas realizadas al módulo lector braille tanto pruebas de campo como pruebas de laboratorio

## **CAPÍTULO 1**

### **ANTECEDENTES**

#### **1.1 PROBLEMA DE ESTUDIO**

Según el Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades en el Ecuador en el año 2020 existe aproximadamente 483000 personas con discapacidad que se encuentran registradas, de este total es necesario saber que cerca 56300 personas poseen discapacidad visual. Del mismo modo se puede apreciar que la gran mayoría se encuentran ubicados en Quito siendo estas cerca de 8000. (CONADIS, 2020)

Para dichas personas era necesario un sistema que les permita la lectura de diversos textos, libros y documentos, para esto fue creado el sistema braille. Sin embargo, según un reporte de la Cámara Ecuatoriana del Libro, la producción de libros en braille en el Ecuador ha sido históricamente escasa, ya que se da a conocer que solo 10 títulos han sido publicados en este formato durante el último lustro. (Flores Gabriel, 2019)

#### **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Existen sistemas electrónicos que permiten la interpretación de textos digitales a voz, esto ayuda a que las personas con discapacidad visual tengan acceso a algo parecido a la lectura, sin embargo, de esta manera estas personas aprenden solo a oír o leen sin tener conciencia de la correcta escritura de las palabras dejando de lado la importancia de alfabetizarse en el lenguaje braille.

Otra opción para la lectura son los libros en braille, sin embargo, estos pueden llegar a triplicar su tamaño en relación a los libros de tinta. De este modo al poder contar con un dispositivo portátil que permita la traducción de libros digitales y los interprete en lenguaje braille mediante celdas, las personas no videntes podrán tener acceso a una colección completa de libros en base a sus gustos y necesidades, además se logrará no solo optimizar el espacio físico, sino también fomentar el uso y la enseñanza del sistema braille. (Sandoval Chunga María Carmen, 2015)

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

Desarrollar un lector braille electrónico para personas con discapacidad visual basado en condiciones de portabilidad y ergonomía que permita a estas personas un fácil acceso a todo tipo de libros digitales en cualquier momento y lugar.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Investigar el lenguaje braille para la determinación de todas sus características, funcionalidades y variantes.
- Desarrollar el sistema de control, potencia y lectura de archivos digitales para la correcta traducción e interpretación del texto en las celdas braille.
- Implementar el hardware necesario que permita el control sobre el avance o retroceso del texto para cumplir con las condiciones de portabilidad y ergonomía.
- Probar el módulo lector con personas con discapacidad visual para un análisis comparativo de desempeño basado en portabilidad y ergonomía.

## **1.4 METODOLOGÍA**

Se realizará una investigación exploratoria sobre distintos tipos de módulos ya existentes en los cuales se basará el prototipo. Así se podrá obtener un diseño conceptual acorde a las características que se busca.

Para el desarrollo tanto del software como del hardware, se utilizará el método aplicativo, que nos permita desarrollar el sistema necesario para la traducción de libros digitales a lenguaje braille cumpliendo las condiciones establecidas.

Para las pruebas de funcionamiento se aplicará el método cuantitativo sobre el prototipo, para de este modo comprobar así su correcto desempeño basado en portabilidad y ergonomía.

## CAPÍTULO 2

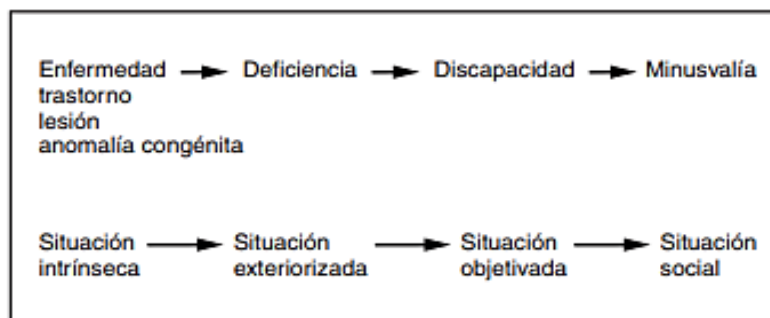
### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 2.1 DISCAPACIDAD

La Organización Mundial de La Salud (OMS), dentro de la Clasificación Internacional de Deficiencias, Discapacidades y Minusvalías (CIDDM), plantea que la enfermedad, deficiencia, discapacidad y la minusvalía son consecuencias directas del surgimiento de una enfermedad definiendo estas de la siguiente forma: En primer lugar, la enfermedad que es una situación propia que engloba cualquier tipo de enfermedad, trastorno o accidente. Por otra parte, la deficiencia que está dada como una manifestación directa de las consecuencias de la enfermedad y se puede presentar tanto en los órganos del cuerpo como en sus funciones (incluidas las psicológicas). También está la discapacidad que es la presencia de la deficiencia en el sujeto con una repercusión directa en su capacidad de realizar actividades consideradas normales para alguien de sus características (edad, género, etc.) y finalmente la minusvalía que está dada por la socialización de la problemática causada en un sujeto por las consecuencias de una enfermedad, manifestada a través de la deficiencia y/o la discapacidad, y que afecta al desempeño del rol social que le es propio. (Villanueva López et al., 2005)

De esta forma se pueden presentar estos conceptos de manera lineal (enfermedad o trastorno, deficiencia, discapacidad, minusvalía), evidenciando que una es consecuencia de la otra como se presenta en la figura 2.1, Así mismo en la figura 2.2 podemos evidenciar algunos ejemplos de esta correlación.

Figura2. 1 Distribución lineal de los términos que recoge la CIDMM



Fuente:(Villanueva López et al., 2005)

Figura2. 2 Ejemplos de correlación, según la CIDDM.

Deficiencia	Discapacidad	Minusvalía
Del órgano de la audición	para escuchar	de orientación
Del órgano de la visión	para ver	de orientación
músculo-esquelética	para arreglarse	de independencia física
músculo-esquelética	para alimentarse	de independencia física
músculo-esquelética	de ambulación	de movilidad
psicológica de	la conducta	de integración social

Fuente:(Villanueva López et al., 2005)

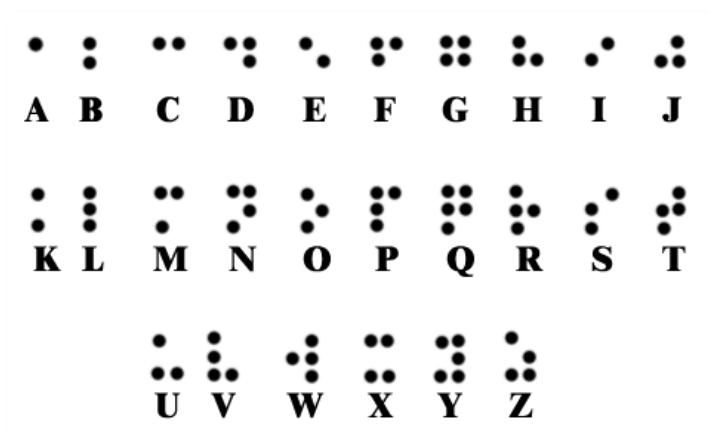
### 2.1.1 Discapacidad Visual

La discapacidad visual está dada por la afectación, en mayor o menor medida, o en la pérdida total de visión. Por si sola esta no es una enfermedad, pero si es resultado de varios tipos de enfermedades, también se tiene que tomar en cuenta que esta pertenece al grupo de discapacidades sensoriales que hace relación a problemas de comunicación, lenguaje y auditivos. Es por esto que cuando se habla de su clasificación se debe tomar en cuenta un enfoque que posea fines pedagógicos y educativos, distinguiéndose así 4 tipos de discapacidad visual: Se tiene la baja visión leve que es aquella que se da en las personas que son capaces de distinguir objetos pequeños, apreciar sus detalles y distinguir su color correspondiente, de modo que estas personas podrán aprender a leer y escribir con ayudas ópticas adecuadas y adaptando el material de trabajo a sus necesidades. También está la baja visión moderada que se presenta en personas que pueden distinguir objetos que se encuentren a cortas distancias y de gran tamaño, así mismo necesitan que la luz sea favorable, es por esto que su mayor problema es la percepción de los detalles y el color de los objetos, estas personas necesitaran una estimulación adecuada de la visión para así llegar a leer y escribir. Por otro lado, está la baja visión severa que se presenta en personas las cuales serán capaces de distinguir solo la luz y la sombra de los objetos, razón por la cual necesitaran ayuda de un bastón para poder movilizarse y así mismo para poder aprender a leer y escribir necesitaran aprender lenguaje braille. Finalmente, las personas que tienen ceguera total serán aquellas que no posean visión alguna, de modo que no podrán distinguir ningún objeto, ni luz, imposibilitando así el desplazamiento sin la ayuda de un bastón o la compañía de una persona vidente, así como la necesidad de aprender a leer y escribir mediante el lenguaje braille. (José & Corral, 2015)

## 2.2 SISTEMA BRAILLE

Es un sistema de lectura y escritura utilizado en su gran mayoría por personas con discapacidad visual, diseñado y creado por Louis Braille en el año 1825, este se encuentra constituido por celdas, dentro de cada una de estas celdas se situarán un conjunto de 6 puntos en relieve, mismos que se encuentran distribuidas en 2 columnas paralelas de 3 puntos cada una. De este modo es como las diferentes combinaciones de estos puntos en relieve representaran a las letras del alfabeto como se puede apreciar en la figura 2.3, los números y a su vez los signos de puntuación con una resultante de 63 combinaciones posibles. Permitiendo así mediante el uso del sentido del tacto el aprendizaje de la lectura y escritura, también facilitando el acceso a la información, a la educación y a la cultura. (Marcet et al., 2016)

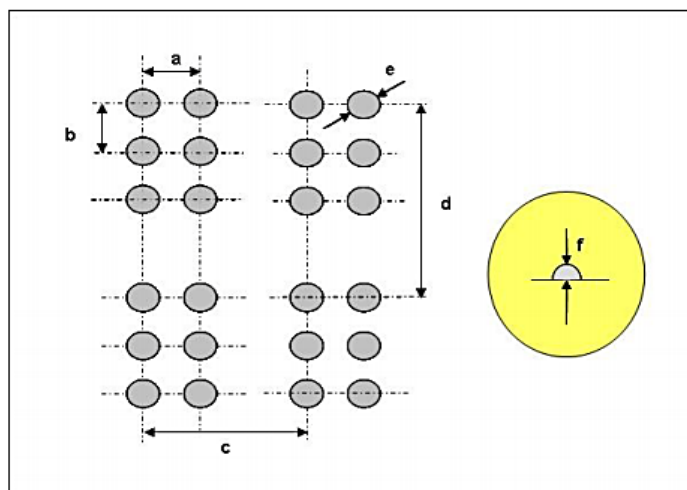
Figura2. 3 Alfabeto Braille



Fuente: (Judith Martínez, 2019)

Por otra parte, también se tiene que tomar en cuenta que, para poder obtener una adecuada lectura a través del tacto, los caracteres que forman las celdas braille tienen que cumplir ciertos parámetros de medida que se encuentran especificados en la tabla 2.1. Siendo estos caracteres los siguientes: la distancia horizontal y vertical entre los centros de puntos contiguos de la misma celda, la distancia entre los centros de puntos idénticos de celdas y líneas contiguas, el diámetro de la base de los puntos y la altura recomendada de los puntos como se puede observar en la figura 2.4. (Comisión Braille Española, 2013)

Figura2. 4 Parámetros dimensionales del braille



Fuente:(Comisión Braille Española, 2013)

Tabla2. 1 Rango de medidas de los parámetros dimensionales del Braille

e [mm]	a [mm]	b [mm]	c [mm]	d [mm]	f [mm]
1.2	2.4	2.4	6	10	0.2-0.5
1.3	2.45	2.45	6.13	10.18	0.2-0.5
1.4	2.5	2.5	6.26	10.36	0.2-0.5
1.5	2.55	2.55	6.39	10.54	0.2-0.5
1.6	2.6	2.6	6.52	10.72	0.2-0.5
1.7	2.65	2.65	6.65	10.9	0.2-0.5
1.8	2.7	2.7	6.78	11.08	0.2-0.5
1.9	2.75	2.75	6.91	11.26	0.2-0.5

### 2.2.1 Lectura en braille

En un estudio realizado por Legge et al., (1999) se demostró que la edad a la cual una persona aprende a leer braille es un pronosticador de la velocidad de lectura que este desarrollara, de modo que si tomamos en cuenta esto es de suma importancia desarrollar métodos de aprendizaje y enseñanza del sistema braille lo más pronto posible tanto en niños como en adultos. Para de este modo, darles a las personas con discapacidad visual la oportunidad de introducirse en la sociedad y maximizar sus habilidades hasta su máximo potencial. Cuando se habla de personas que saben leer braille se tiene que aclarar que no solo se refiere a leer textos, sino que se refiere a la lectura de todo tipo de información que nos pueden otorgar servicios como letreros, anuncios, ascensores, mapas, etc. Así como leer datos informativos de productos de

todo tipo como alimenticios, de salud, tecnológicos, etc. Razón por la cual para desarrollar eficientemente la lectura en braille es necesario además de aprenderla, practicarla de manera constante. (Marcet et al., 2016)

Pues bien, por un lado, es bien conocido que existen recursos muy útiles para personas con discapacidad visual como lo son los audiolibros, pero en ciertos casos estos pueden llegar a limitar en gran medida las habilidades de alfabetización desarrolladas por estas personas ya que cuando se lee en braille, los lectores realizan las siguientes operaciones: Primero decodifican los patrones que poseen puntos, de esta forma activan en su corteza cerebral la representación de las letras; luego acceden a su significado; y finalmente coordinan la movilidad de los dedos con su procesamiento perceptivo y lingüístico. (Hughes, 2011)

La lectura en braille consta de un sistema donde se utiliza los dedos de ambas manos, en especial los dedos índices, ya que estos se van a desplazar de izquierda a derecha para realizar el reconocimiento de los diferentes puntos en relieve, que representan los diferentes grafemas de cada palabra, es por esto que al realizar el reconocimiento letra a letra y no por palabras, el grafema se convierte en la unidad mínima fundamental. La lectura en braille es un proceso táctil y móvil, un proceso que se realiza en conjunto y que al mismo tiempo es un proceso diferente en cada persona, que depende principalmente de la destreza lectora. Este movimiento se puede dar principalmente en 3 casos: Tenemos primero, una exploración progresiva la cual consiste de movimientos constantes, sin cambiar de forma brusca la velocidad y sin que el dedo con el que se está leyendo se separe ni un solo momento de la línea de texto. En segundo lugar, se tienen los movimientos de cambio de línea en donde el dedo con el que se realiza la lectura con la mano derecha reconoce los caracteres al final de la línea, al mismo tiempo que el dedo con el que se realiza la lectura con la mano izquierda explora el inicio de la que sigue, busca en el margen el comienzo de esta, Finalmente, tenemos los repasos que son los más comunes, en función a la capacidad lectora, por lo general, también se da cuando el número de grafemas dentro de una palabra es más extenso. (Ismael Martínez-Liébana & Delfina Polo Chacón, 2004)



### 2.3 LIBROS EN BRAILLE

El sistema braille es principal método de enseñanza para que las personas con discapacidad visual aprendan a leer y escribir, como consecuencia de esto se ha generado un aumento en la demanda y por ende en la cantidad de libros braille que están disponibles. Sin embargo, para la impresión de estos es necesario el uso de equipos especiales para grabar las celdas braille en el papel, convirtiendo este en un proceso más tardado y costoso que la impresión de libros a tinta, y, en consecuencia, los costos de estos se elevan en al menos un 30%, y hasta un 60% más de lo normal. Por otro lado, estos libros también resultan más voluminosos que sus opuestos en tinta como se puede apreciar en la figura 2.5, llegando incluso a dividirse en algunos volúmenes para poder abarcar lo que se abarca en un solo libro en tinta. (Hossain et al., 2019)

Figura2. 5 Ejemplo del Tamaño que presentan los libros braille



Fuente: (Hossain et al., 2019)

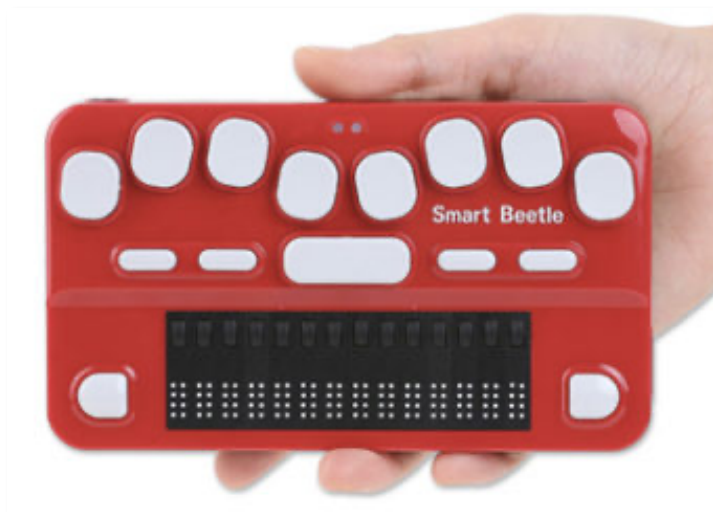
### 2.4 DISPOSITIVOS BRAILLE ELECTRÓNICOS

En la actualidad se han llegado a desarrollar una variedad de sistemas para la escritura y lectura de texto en lenguaje braille, diferenciándose entre si ya sea por sus características, eficiencia, precios, así como la tecnología que existe atrás de ellas. Muchos de los investigadores tratan de buscar las mejores herramientas y aplicar los mejores métodos para desarrollar sistemas que proporcionen una experiencia casi perfecta al usuario manteniendo la eficiencia y calidad del producto al máximo. Algunos de los sistemas braille que podemos encontrar en el mercado son: (Gote et al., 2020)

### 2.4.1 Smart Beetle HIMS

El Smart Beetle conocido como escarabajo inteligente se trata de una pantalla braille de 14 celdas, que cuenta con 5 conexiones bluetooth simultaneas y 1 conexión USB que permite la conexión con todo tipo de dispositivos electrónicos tales como teléfono, Tablet, computadora, entre otros. Este dispositivo se conecta como un terminal braille con otros lectores de pantalla entre los que incluye: JAWS, Window-Eyes, SuperNova, System Access, Voice-Over para Mac y iOS, BrailleBack para Android, Mobile Speak y TALKS. Este dispositivo también posee un teclado bluetooth estilo Perkins que copia todas las funciones de un teclado QWERTY como se muestra en la figura 2.6. Cuenta con un modelo ligero y portátil que posee las siguientes dimensiones de 149x86x27 [mm], un peso de 280 [g] y tiene con un costo aproximado de \$400.(HIMS, 2019a)

Figura2. 6 Smart Beetle HIMS



Fuente: (HIMS, 2019a)

### 2.4.2 QBraille XL

QBraille XL es una pantalla braille que cuenta con 40 celdas, también tiene un teclado híbrido que posee teclas braille en el centro, está rodeado de un modificador QWERTY estándar y tiene teclas de función ubicadas en sus lugares típicos como se puede ver en la figura 2.7. Esta pantalla permite a las personas con discapacidad visual el crear blocs de notas independientes, así como la compatibilidad con sistemas como: JAWS, Window-Eyes, SuperNova, System Access, NVDA, Voice-Over for Mac and iOS, BrailleBack for Android, Mobile Speak, TALKS. Cuenta con un modelo que asemeja a los teclados normales de las computadoras que posee las siguientes dimensiones de

309.88x119.126x18.034 [mm], con un peso de 816.466 [g], y posee un costo aproximado de \$3000. (HIMS, 2019b)

Figura2. 7 QBraille XL



Fuente: (HIMS, 2019b)

### 2.4.3 BraiBook

BraiBook es un dispositivo que partió como parte de un proyecto social en Chivas The Venture en la ciudad de España, Este dispositivo permite el almacenamiento de hasta 8 mil documentos, de modo que es principalmente un lector electrónico de todo tipo de libros para personas con discapacidad visual como se puede ver en la figura 2.8, Para poder usarlo es necesario conectar el equipo a una computadora, luego, copiar y pegar el documento que se desee leer mediante el uso de la herramienta que BraiBook proporciona, para que así finalmente el dispositivo pueda reconocer automáticamente el texto y transformarlo al sistema braille, mediante el uso de una sola celda braille. Este dispositivo cuenta con el tamaño de un mouse regular que cuenta con las siguientes dimensiones de 135x46x38 [mm], con un peso de 145 [g], y posee un costo aproximado de \$450. Este dispositivo también posee la característica de convertirse en un audio libro.(BraiBook, 2019)

Figura2. 8 BraiBook

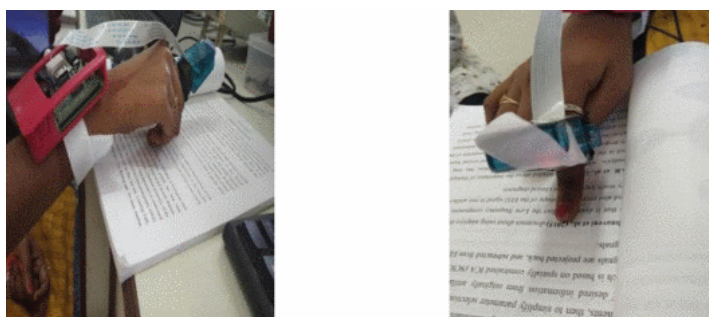


Fuente: (HIMS, 2019b)

#### 2.4.4 Lector portátil basado en Raspberry Pi

Se trata de un prototipo el cual es capaz de realizar captura de imágenes mediante el uso de una cámara miniatura raspberry pi de alta resolución, enfocando está en la captura de las palabras una por una para evitar así la lectura simultanea de las mismas, luego se pasa a realizar un procesamiento de las imágenes convirtiendo estas en texto, para, así mediante el uso del convertidor de texto a voz que nos proporciona Google (gTTS) convertir el texto obtenido a voz, este prototipo también utiliza retroalimentación háptica para alertar al usuario en caso que se desvíe por encima la línea de texto o comience a leer texto por encima de la línea actual, ya que para el sistema de obtención de las imágenes se tiene como base la posición y el recorrido que se realiza con el dedo índice como se puede ver en la figura 2.9.(Srija et al., 2020)

Figura2. 9 Lector portátil basado en Raspberry Pi



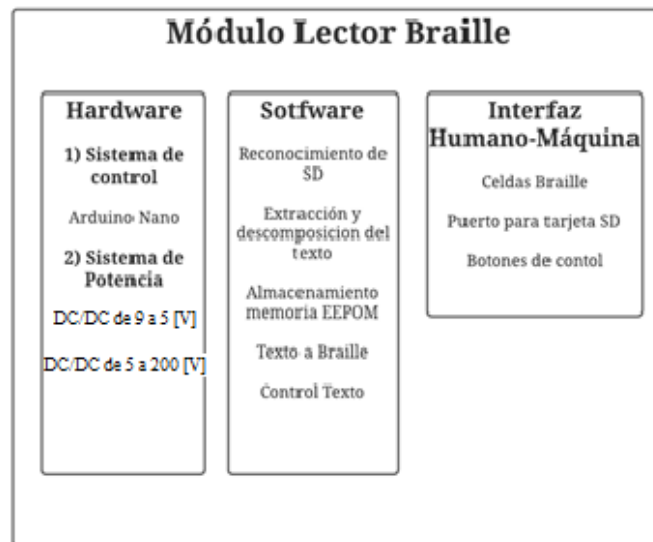
Fuente: (Srija et al., 2020)

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En el siguiente capítulo se describirá el desarrollo y proceso de diseño del módulo lector braille el cual como se muestra en la figura 3.1 consta del hardware, software y la interfaz humano-máquina para el control del modulo

Figura3. 1 Diseño del Hardware, Software e Interfaz Humano-Maquina del Módulo

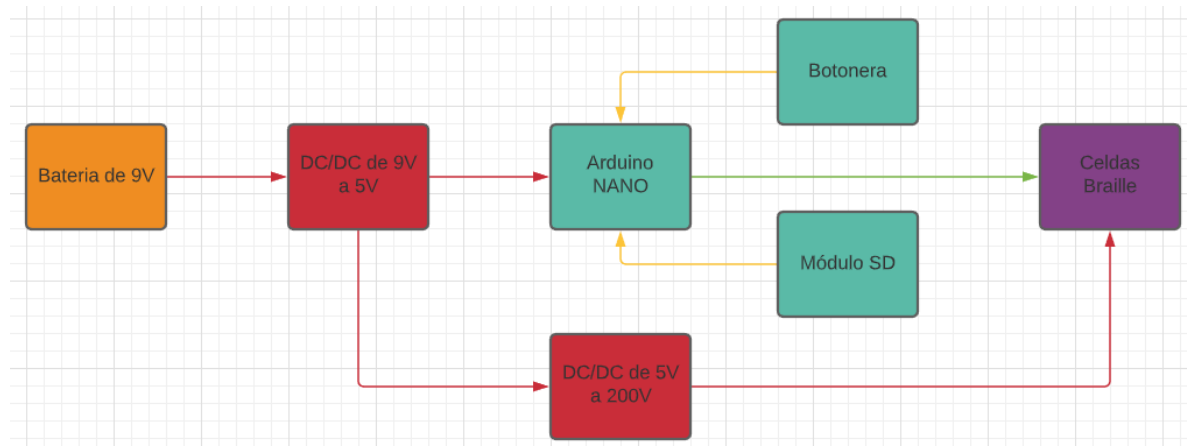


Fuente: (Autor)

### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

En la siguiente sección se detallará los elementos electrónicos que se necesitan para poder realizar la traducción del texto en formato digital y presentarlo en formato braille, para esto se emitirán señales para poder controlar celdas Braille, se introducirán la información a traducir mediante una tarjeta SD, también se controlará un buzzer que nos indicara si el archivo fue leído correctamente o no. Además de esto, se recibirá señales desde 3 botones. En la siguiente sección también se detallará el sistema de potencia que cuenta con una batería de 9 [V], Además el módulo necesitará 2 DC/DC ya que uno de ellos servirá para reducir el voltaje de la batería de 9 a 5 [V], por otro lado, el otro DC/DC se utilizará para elevar el voltaje que proporcionara el Arduino Nano de 5 a 200 [V] que es el voltaje que se necesita para hacer funcionar las celdas Braille. En la figura 3.2 se puede apreciar el esquema de conexión del módulo lector donde con el color rojo se representarán las líneas de alimentación, el color amarillo representara que el módulo está recibiendo datos en este caso tanto de la botonera como del módulo SD. Finalmente, la línea verde representa las señales que se enviaran a las celdas Braille

Figura3. 2 Diagrama de conexión módulo lector



Fuente: (Autor)

### 3.2 ELECCIÓN DE ELEMENTOS QUE COMPONEN EL HARDWARE

Tabla3. 1 Tabla comparativa tipos de microcontroladores

Tipos	Ventajas	Desventajas
Arduino	<ul style="list-style-type: none"> <li>El procesador del Arduino es un ATmega328P que corre a 20 MIPS (millones de instrucciones por segundo).</li> <li>Arquitectura AVR RISC, tipo Harvard.</li> <li>Posee los siguientes periféricos: UART, I2C, SPI, GPIO, PWM, ADC y Comparador, Interrupciones</li> <li>Posee un Software ampliable y de código abierto</li> <li>Costo reducido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Debido a que la plataforma ya viene ensamblada, los Arduino cuentan con muy poca flexibilidad</li> <li>Posee mucha menos memoria en comparación a la raspberry Pi</li> <li>No posee sistema operativo interno</li> </ul>
PIC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es sencillo de programar</li> <li>Posee una unidad de procesamiento tipo RISC con arquitectura Harvard.</li> <li>El tamaño de código y la velocidad de ejecución es menor</li> <li>Sus E/S poseen gran flexibilidad</li> <li>Precio reducido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Posee limitaciones que impiden que los módulos lógicos tengan una elevada potencia y capacidad.</li> <li>Los PIC son utilizados para controlar tareas pequeñas no son usados en el área industrial.</li> <li>Su expansión es compleja</li> <li>La portabilidad de programas suele ser casi nula</li> </ul>

Continuación Tabla 3.1 Tabla comparativa tipos de microcontroladores

<b>Tipos</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Raspberry Pi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee un procesador BCM2837 Cortex A7 de alto desempeño y bajo consumo</li> <li>• Arquitectura ARM tipo Quad Core que corre a 1.2 Ghz.</li> <li>• Posee los siguientes periféricos: UART, I2C, SPI, GPIO, PWM, USB, Ethernet, WiFi, HDMI.</li> <li>• Es compatible con varios programas y lenguajes de programación</li> <li>• Mayor velocidad de procesamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere una mayor cantidad de accesorios para ser manipulada</li> <li>• No posee entradas analógicas</li> <li>• No posee salidas analógicas por modulación de ancho de pulso</li> <li>• En comparación a otros microcontroladores su costo es elevado</li> </ul>

Como se puede observar en la tabla 3.1, para la elección del microcontrolador se tomó en cuenta varios aspectos, principalmente, al ser un proyecto el cual se encuentra orientado hacia la portabilidad y ergonomía, el tamaño es muy importante, si bien los PICs pueden proporcionarnos microcontroladores muy pequeños, su capacidad y rendimiento es limitada, por otro lado el raspberry Pi, a pesar de que brinda un sistemas que puede tener una mayor velocidad de procesamiento y nos da acceso a múltiples periféricos y lenguajes de programación, su costo, tamaño y requerimientos de uso no es muy óptimo. Finalmente, para el proyecto se decidió el uso del Arduino ya que es un microcontrolador que nos brinda un software ampliable y de código abierto, además de un procesador rápido, que al igual al que el raspberry Pi nos da acceso a múltiples periféricos, con un costo muy bajo, y que posee el microcontrolador más pequeño del mercado el cual es el Arduino uno.

Tabla3. 2 Tabla comparativa tipos de memorias externas

<b>Tipos</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Memoria USB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo Coste</li> <li>• Resistentes e inmunes a rayaduras</li> <li>• Fácil y ligeras de transportar</li> <li>• Gran y diversa capacidad de almacenamiento</li> <li>• Se puede usar en muchos dispositivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de privacidad en los datos</li> <li>• Susceptible a dañarse fácilmente por picos de voltaje</li> <li>• Pueden perderse con facilidad</li> <li>• Son susceptibles a virus</li> </ul>
Tarjetas de memoria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponible en diversos tamaños</li> <li>• Posee adaptadores para los distintos tamaños</li> <li>• Gran y diversa capacidad de almacenamiento</li> <li>• Resistentes al polvo y al agua</li> <li>• Fáciles de llevar</li> <li>• Velocidad óptima para interactuar datos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden dejar de funcionar por diversos factores: uso prolongado, picos de voltaje, caídas</li> <li>• Pueden perderse con facilidad</li> <li>• Son susceptibles a virus</li> <li>• Se presentan muchas copias falsas de marcas reconocidas</li> </ul>

Como se puede observar en la tabla 3.2, en lo que respecta a memorias flash, tanto las memorias USB, como las tarjetas de memoria, poseen prestaciones muy similares, en este caso para el desarrollo del proyecto se optó por el uso de tarjetas de memoria ya que, al poseer adaptadores, se pueden usar sin problemas tarjetas de distintos tamaños, de este modo se da al usuario la opción de adaptarse al tamaño que mejor le parezca.

Tabla3. 3 Tabla comparativa tipos de celdas braille

<b>Tipos</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
P20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Celda Braille de 8 puntos</li> <li>• Accionada por piezo muy pequeña</li> <li>• Posee tapas táctiles planas o cóncavas</li> <li>• Disponibles con o sin botón de interacción</li> <li>• Placa base activa para 6 u 8 celdas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificiles de conseguir</li> <li>• Son susceptibles dañarse fácilmente por picos de voltaje o corriente</li> <li>• Costo levado</li> </ul>
B11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Celdas individuales adaptables a cualquier línea braille</li> <li>• Disponibles con cinco tapas táctiles diferentes, planas o cóncavas</li> <li>• En algunos se puede integrar botón de interacción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son susceptibles dañarse fácilmente por picos de voltaje o corriente</li> </ul>
P16	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Celda Braille de 8 puntos</li> <li>• Accionada por piezo muy pequeña</li> <li>• Posee tapas táctiles planas o cóncavas</li> <li>• Placa base activa para 6 u 8 celdas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificiles de conseguir</li> <li>• Son susceptibles dañarse fácilmente por picos de voltaje o corriente</li> <li>• No se puede adaptar botón de interacción</li> </ul>

Como se puede observar en la tabla 3.3. Para la elección de las celdas braille se optó por elegir las celdas B11 debido a que estas celdas son más fáciles de conseguir ya que se venden por separado y son adaptables, por su parte tanto las celdas P20 como las P16 son más difíciles de conseguir ya que se venden como línea braille que consta de un blackplane con 40 celdas.

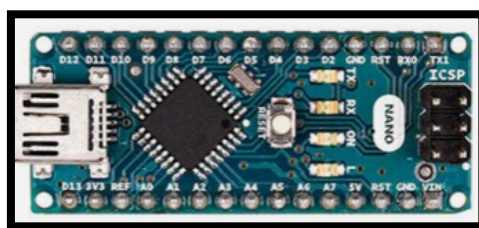
### 3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL HARDWARE

#### 3.3.1 Arduino Nano

El módulo lector braille utiliza un Arduino nano como microcontrolador, ya que, al ser el Arduino más pequeño disponible en el mercado, es ideal para usarlo en este proyecto debido a que el mismo tiene un enfoque hacia la portabilidad y ergonomía. Arduino nano cuenta con un tamaño 45x18 [mm] como se puede observar en la figura 3.3, y sus características se muestran en la tabla 3.4.



Figura3. 3 Arduino Nano



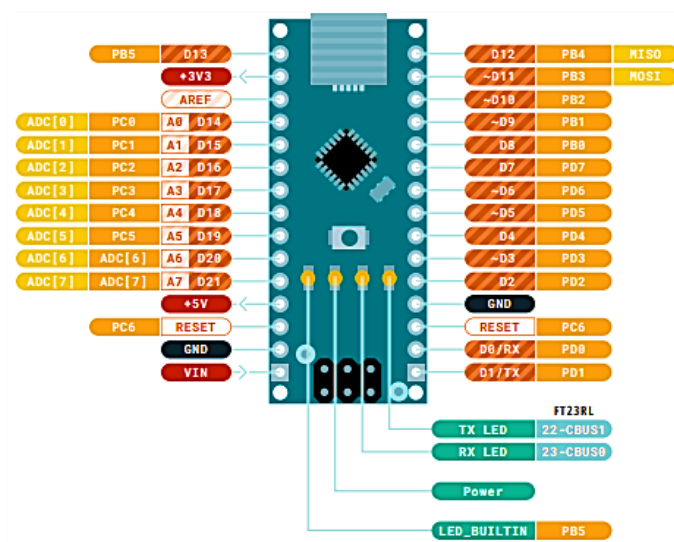
Fuente: (Arduino Official Store, 2020)

Tabla3. 4 Características Arduino Nano

Características	Descripción
Microcontrolador	ATmega328
Arquitectura	AVR
Tensión de funcionamiento	5 [V]
Memoria flash	32 [KB]
SRAM	2 [KB]
Velocidad de reloj	16 [MHz]
Pines analógicos IN	8
EEPROM	1 [KB]
Corriente CC por pines de E / S	40 [mA]
Voltaje de entrada	7-12 [V]
Pines de E / S digitales	22 (6 de los cuales son PWM)
Salida PWM	6
El consumo de energía	19 [mA]
Peso	7 [g]

La disposición de los pines de conexión y control de los diferentes sistemas desde el Arduino Nano se muestran en la figura 3.4.

Figura3. 4 Pines de conexión Arduino Nano



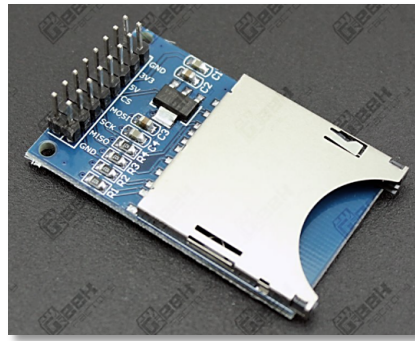
Fuente: (Arduino Official Store, 2020)

### 3.3.2 Módulo de Interfaz tarjeta SD

El módulo de Interfaz tarjeta SD permite la conexión entre un microcontrolador y una tarjeta de memoria SD, de esta forma se puede almacenar una gran cantidad de datos, y en el caso del módulo lector braille es ideal para almacenar los libros en formato digital los cuales vamos a traducir. Para realizar la comunicación, el módulo de interfaz tarjeta SD, utiliza SPI, pero trabajan con 3.3 [V], también es necesario si se desea trabajar con Arduino el uso de módulos externos que además de poseer el socket, disponen de los componentes necesarios para adaptar los voltajes a TTL y poder conectarlo fácilmente al Arduino como podemos ver en la figura 3.5 y en la tabla 3.5 donde se especifican sus características.

En cuanto a las memorias, estas vienen dadas en 3 tamaños que son: SD estándar, Mini SD y Micro SD como se muestra en la figura 3.6. Siendo el Micro SD el tamaño más común en el mercado, sin embargo, funcionalmente son iguales, de modo que se pueden usar adaptadores para obtener los sockets de distintos tamaños. Es por esta razón que el módulo lector utiliza la SD estándar ya que al ser un módulo para personas con discapacidad visual los otros tamaños de memoria pueden ser más susceptibles a perderse.

Figura3. 5 Módulo de Interfaz tarjeta SD

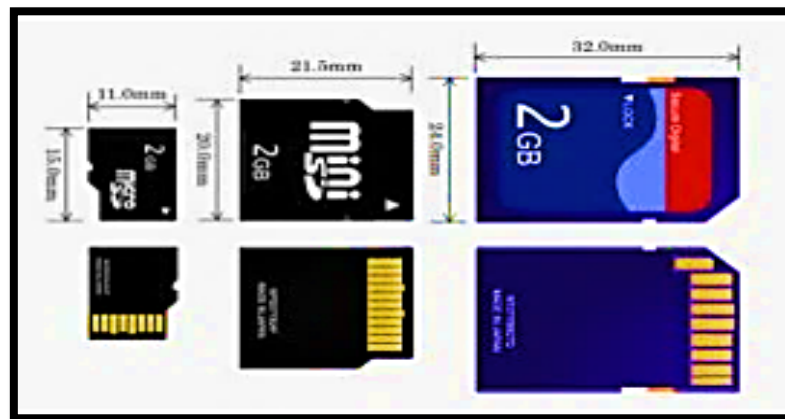


Fuente: (Geek Factory, 2020)

Tabla3. 5 Características del módulo de Interfaz tarjeta SD

Características
Regulador de tensión incluido para alimentar con 5 y 3.3 [V]
Incluye buffer adaptador de niveles lógicos
Se puede usar con Arduino y en general con cualquier microcontrolador y tarjeta de desarrollo.
Cuenta con todos los pines SPI de la tarjeta SD: MOSI, MISO, SCK, CS
Evita problemas de conexiones y protege la integridad de la memoria al evitar falsos contactos
Solamente para memoria MicroSD

Figura3. 6 Tamaños de memorias



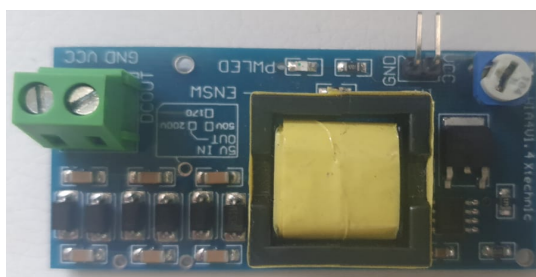
Fuente: (Juan Antonio Pascual Estapé, 2016)

### 3.3.3 Módulo conversor DC/DC de 5/200 [V]

El módulo conversor de 5 a 200 [V] es un convertidor de alto voltaje de tipo Boost que posee un módulo de potencia ajustable, el cual será el encargado de proporcionar la potencia necesaria para el correcto funcionamiento de las celdas braille como se puede

observar en la figura 3.7. Las características del convertidor se muestran en la tabla 3.6.

Figura3. 7 Convertidor DC-DC 5 a 200 [V]



Fuente: (Autor)

Tabla3. 6 Características convertidor DC-DC 5 a 200 [V]

Características	Descripción
Corriente de Salida:	2-20 [mA]
Voltaje de Entrada:	5-12 [V]
Tensión de Salida:	300-1200 [V]
Peso:	25 [g]
Dimensiones:	25x48 [mm]

### 3.3.4 Celdas Braille

Son celdas individuales muy pequeñas de 6 puntos piezo activos, las cuales se encuentran disponibles con tapas táctiles planas o cóncavas, así como con o sin botón de interacción. Estas celdas se pueden combinar de manera óptima con cualquier línea braille, y serán las encargadas de interpretar el texto digital en lenguaje braille como se muestran en la figura 3.8. Y sus características se presentan en la tabla 3.7

Figura3. 8 Celdas Braille B11



Fuente: (Autor)

Tabla3. 7 Características celdas braille b11

Características	Descripción
Dimensiones:	101x23x6 [mm]
Tiempo promedio:	$> 10^6$ actuaciones
Fuerza táctil	Min. 17 [cN]
Ancho de celda:	6.42 [mm]
Espacio entre puntos:	2.45 [mm]

### 3.3.5 Diseño de placa PCB

Se realizó una placa PCB con ayuda del software Proteus 8 Professional como se puede observar en la figura 3.10, también se observa en la figura 3.9 el circuito, para esto se realizó una placa simple cara que nos permitirá optimizar el espacio, en esta placa se ubicarán los pulsadores y el buzzer, los cuales se conectarán con los distintos pines del Arduino nano, también esta placa contara con pines de entrada y salida para alimentar todo el circuito.

Para el diseño del PCB se realizó el cálculo del ancho de la pista aplicando la Ec3.1. Para esto se usaron los siguientes datos: Primero tenemos la corriente máxima que puede circular por la pista, para lo cual se tomó en cuenta los picos que el circuito maneja cuando todos los sistemas están en funcionamiento, siendo estos de hasta 300 [mA], sin embargo para poder entregar un margen de seguridad este valor se sobredimensiona un 400% por lo cual tendremos un valor de 1.2 [A], luego tenemos el incremento máximo de temperatura permitido que puede soportar la pista, por lo cual, si se tiene que la temperatura ambiente es de 50°C y queremos que la temperatura de la pista no sobrepase los 55°C, el incremento máximo permitido será de 5°C, finalmente tenemos el grosor de la pista, este suele ser expresado en onzas por pie cuadrado y utiliza medidas estándar de 1,2 o 3 [oz/ft<sup>2</sup>] lo que equivale a 35, 70 y 105 [μm] respectivamente. Los valores que se utilizaron para el calculo del ancho de la pista se pueden observar en la tabla 3.8.

Tabla3. 8 Datos para cálculo de ancho placa PCB

Datos	Valores
Corriente Máxima:	1200 [mA]
Diferencia de temperatura máxima:	15°C
Grosor de la pista:	35 [μm]= 1 [oz / ft <sup>2</sup> ]

$$Ancho = \frac{\left(\frac{I}{K1 * \Delta T^{K2}}\right)^{\frac{1}{K3}}}{L * 1.378} \quad \text{Ec 3.1}$$

**Donde:**

$$I = 1.2 \text{ [A]}$$

$$L = 1 \text{ [oz / ft}^2\text{]}$$

$$\Delta T = 5^\circ\text{C}$$

$K1 = 0.0647$  (Constante para pistas externas)

$K2 = 0.4281$  (Constante para pistas externas)

$K3 = 0.6732$  (Constante para pistas externas)

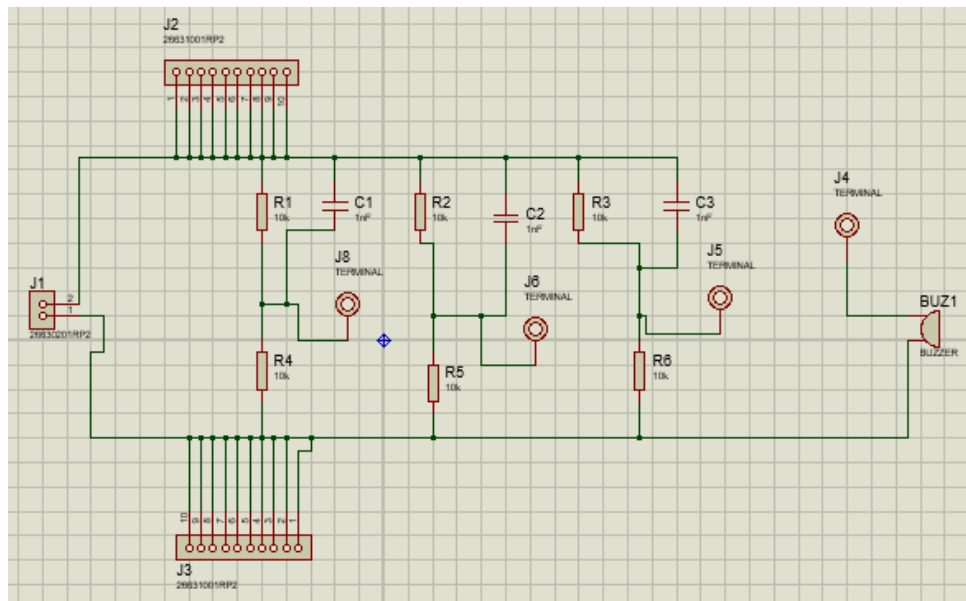
$$Ancho = \frac{\left(\frac{1.2}{0.0647 * 5^{0.4281}}\right)^{\frac{1}{0.6732}}}{1 * 1.378}$$

$$Ancho = \frac{27.5083}{1.378}$$

$$Ancho = 19.962 \text{ [mil]}$$

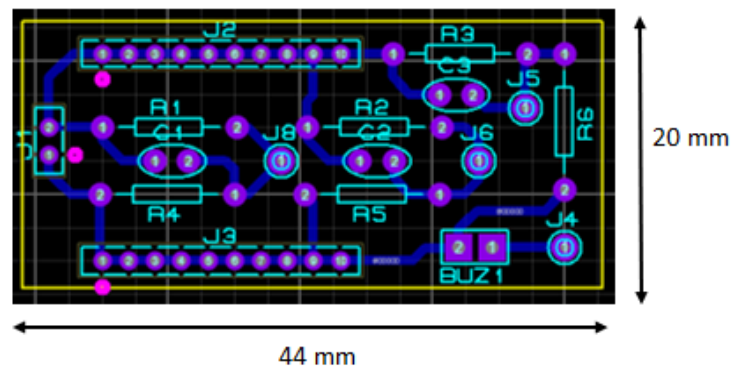
$$Ancho = 0.5070 \text{ [mm]}$$

Figura3. 9 Circuito en Proteus



Fuente: (Autor)

Figura3. 10 PCB para el módulo lector

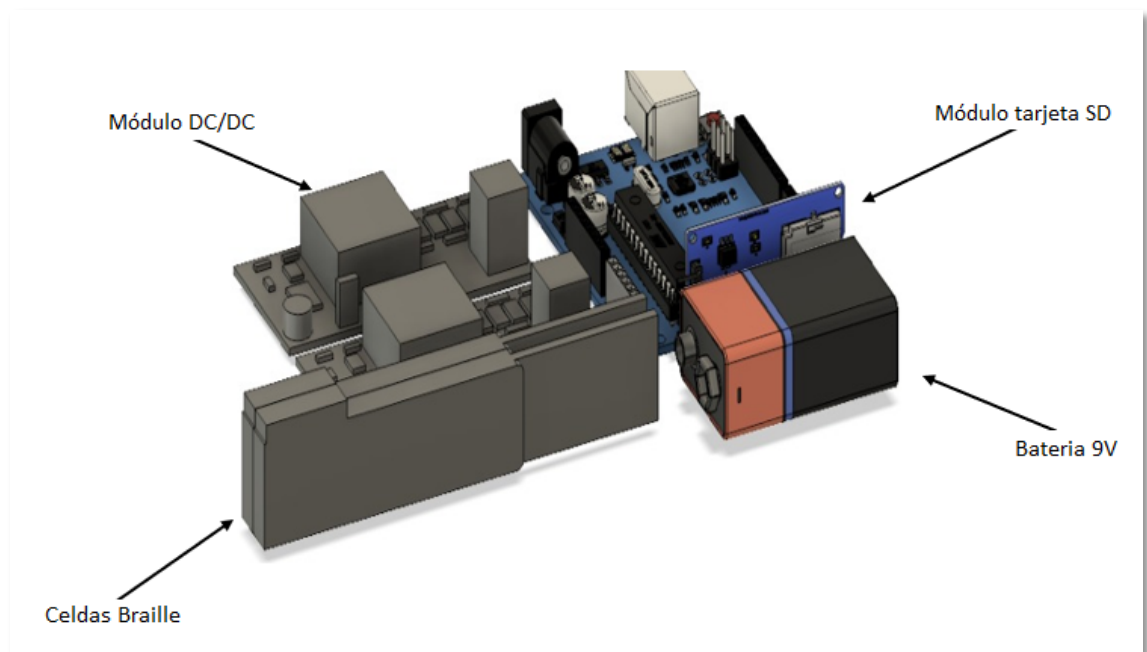


Fuente: (Autor)

### 3.4 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

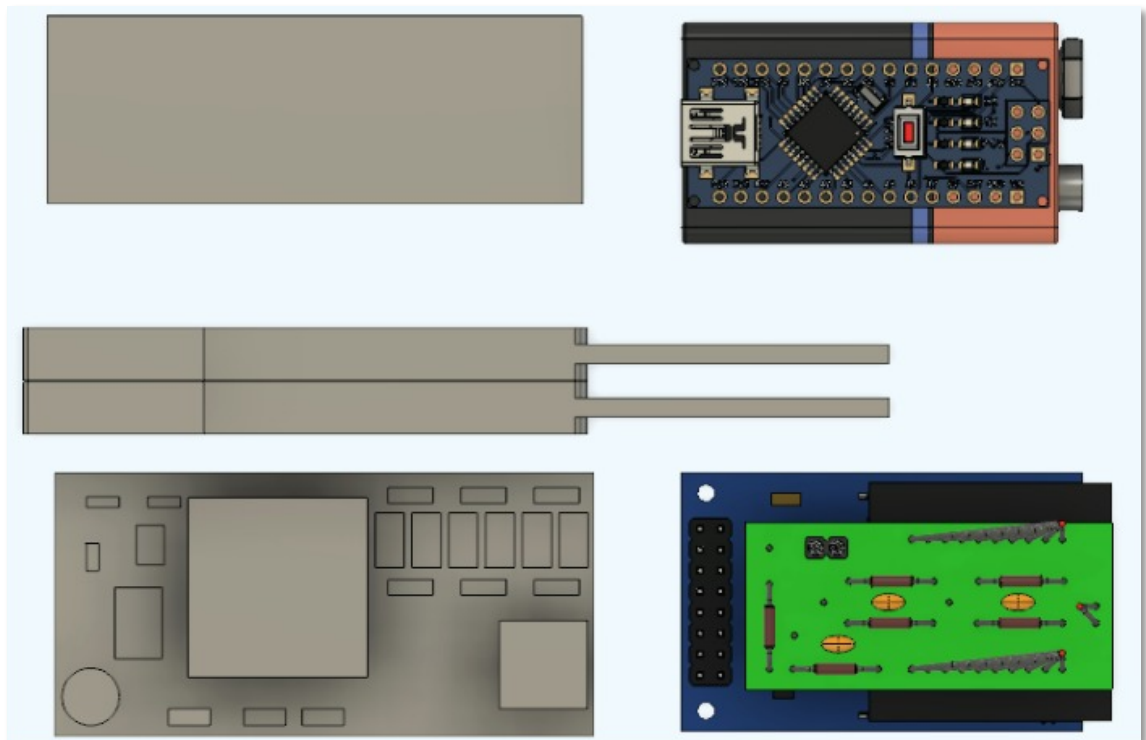
Para el diseño de la estructura lo principal que se tiene que tomar en cuenta es que se busca un modelo portable y ergonómico, por lo cual lo primero que se realizó fue un modelado en 3D de los elementos que componen el módulo lector braille con la ayuda del programa Autodesk Fusión 360 como se puede ver en las figuras 3.11 y 3.12.

Figura3. 11 Modelado en 3D de los Elementos del Módulo Lector



Fuente: (Autor)

Figura3. 12 Modelado en 3D de los Elementos del Módulo Lector



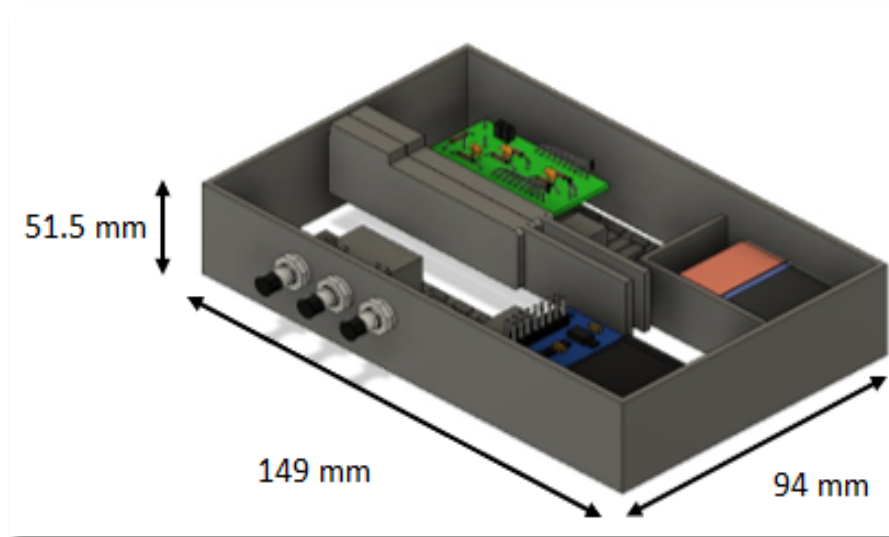
Fuente: (Autor)

Una vez que se tiene todos los componentes del módulo lector modelados en 3D se procede a desarrollar la carcasa que se encuentra dividida en dos partes como se puede ver en las figuras 3.13 y 3.14.

En la primera se encuentra la base, donde se ubican los módulos de control y potencia, así como la placa PCB tomando en cuenta sus dimensiones, así como los cortes necesarios para la entrada de la tarjeta SD y los pulsadores. Por otro lado, en la segunda parte se encuentra la tapa que cerrara la estructura y en donde estarán ubicadas las celdas braille.



Figura3. 13 Modelado en la Carcasa del Módulo lector



Fuente: (Autor)

Figura3. 14 Modelado en la Carcasa del Módulo lector



Fuente: (Autor)

Finalmente, como se puede observar en la figura 3.15 se procedió a realizar la impresión de la carcasa obteniendo una estructura que cuenta con las siguientes dimensiones: 94 [mm] de ancho, 149 [mm] de largo y 51,5 [mm] de espesor, y un peso de 300 [g].

Figura3. 15 Carcasa del módulo lector Braille

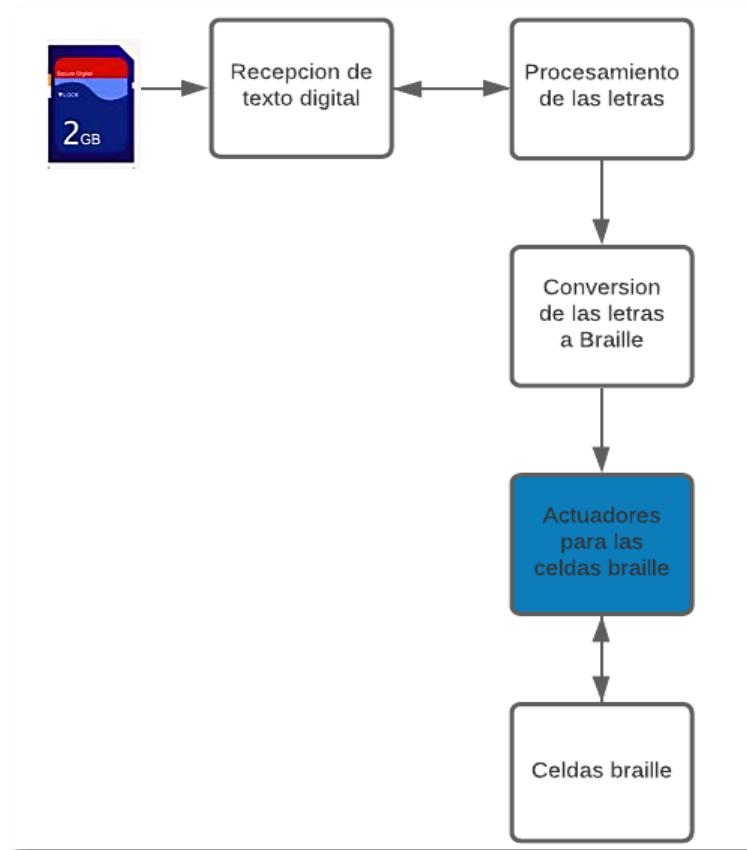


Fuente: (Autor)

### **3.5 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE**

Una vez que se define el hardware se procede a definir el funcionamiento del software y la interacción que este tendrá con los periféricos como se puede observar en la figura 3.16. El módulo lector braille será capaz de interpretar los textos digitales que se presenten en la memoria SD. Obteniendo así el texto para luego poder traducirlo a Braille, también nos da la opción de tener control sobre el avance o retroceso del texto, así como la posibilidad de retomar la lectura del texto en cualquier punto donde el lector se haya quedado.

Figura3. 16 Diagrama del funcionamiento de la lectura y traducción del texto



Fuente: (Autor)

En lo que respecta al diseño del software, se dividió el sistema en distintas partes, mismas, que se encargan de realizar las diversas tareas en específico necesarias para el desarrollo del proyecto, para finalmente conformar todas parte de un programa principal, estas partes se encuentran detalladas en la figura 3.17

Figura3. 17 Etapas del Módulo Lector Braille

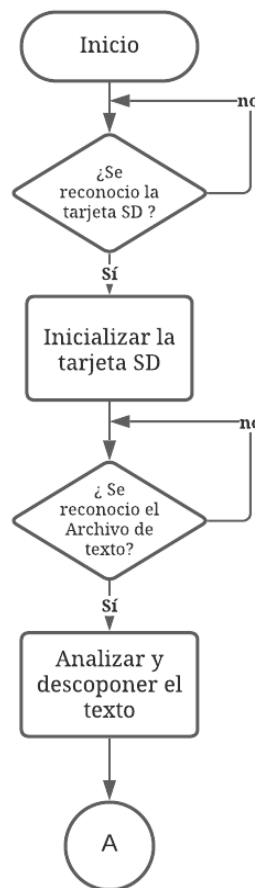


Fuente: (Autor)

### 3.5.1 Reconocimiento y manejo de datos de la tarjeta SD

Esta parte del proyecto es la encargada de conectar con la tarjeta SD, para esto se cuenta con una librería que permite el uso de estas memorias y viene en conjunto con el IDE de Arduino, evitando así la descarga o instalación de alguna librería adicional, Para poder utilizar esta librería es necesario incluirla al inicio del programa. Esta librería va a ser la encargada de realizar el reconocimiento de la tarjeta SD y una vez que esta la reconozca podremos acceder a los archivos dentro de ella, para de este modo realizar la obtención del texto, su análisis y descomposición. Para lograr esto se utilizaron los distintos comandos que nos proporciona la librería.

Figura3. 18 Diagrama de flujo del funcionamiento del módulo SD



Fuente: (Autor)

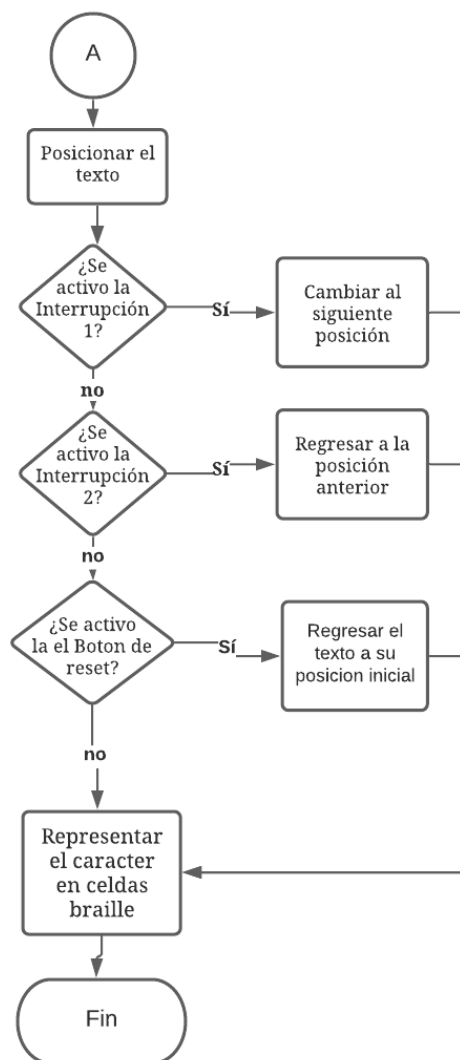
### 3.5.2 Interrupciones para el control del texto

Se sabe que cuando se utiliza un entorno de programación como Arduino el programa se ejecuta de manera lineal y continua, ya que este tiene un lenguaje basado en la programación de alto nivel Processing, de modo que cuando se necesita detectar un cambio de estado en alguna entrada, se utilizan entradas digitales para consultar de forma repetida su valor utilizando intervalos de tiempo entre consultas, pero esto puede tener sus desventajas ya que, si se necesitaría que una acción sea tomada o atendida de manera inmediata no sería prudente esperar hasta que el programa llegue al punto donde se realizara la consulta de dicha acción, así también si el pulso es muy corto, o el procesador está ocupado en otra acción mientras el pulso se produce, lo más probable es que el disparo se salte y la acción nunca se realice.(Arduino, 2016)

Es por esto que para el módulo lector braille se utilizan interrupciones ya que estas envían una señal al microcontrolador, para dar la indicación que debe interrumpir el curso actual del programa, las interrupciones van a suspender de manera temporal la

ejecución de un proceso, para de este modo pasar a una subrutina de interrupción, que, una vez finalizada, dará paso a que se reanude el proceso anterior. Es así que el Arduino Nano nos dará la posibilidad de definir dos interrupciones las cuales necesitaran ser configuradas e inicializadas. Ahora, se tiene que tomar en cuenta que una vez que se analizó y se descompuso el texto, se va realizar un recorrido del mismo, carácter por carácter, cabe recalcar que cada uno de estos cuenta con una posición, iniciando el primer carácter del texto en la posición cero. Esta posición será almacenada en una variable que nos permita desplazarnos por el texto, de modo que si se activa la primera interrupción esta variable cambiará a la siguiente posición, y de igual forma con la segunda interrupción regresaremos a la posición anterior, de modo que estas interrupciones nos darán la posibilidad tener control sobre el avance o retroceso sobre texto.

Figura3. 19 Diagrama de flujo del funcionamiento de las interrupciones



Fuente: (Autor)

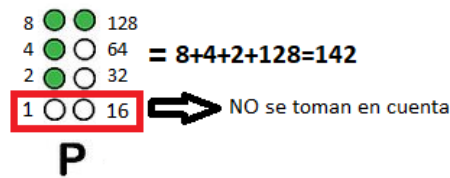
### **3.5.3 Control de la memoria no volátil EEPROM**

Esta parte del proyecto es esencial ya que nos brinda la posibilidad de retomar la lectura en cualquier punto donde el lector se haya quedado, evitando así el perder una continuidad a la lectura ya sea porque se agotó la batería o porque apagamos nuestro dispositivo. También el sistema cuenta con la posibilidad de reiniciar el texto ya sea que quiera empezar con un nuevo texto o simplemente releer el mismo desde el inicio. Para lograr esto se hizo uso de la memoria de almacenamiento no volátil llamada EEPROM que tiene el Arduino Nano, misma que nos permite mantener los valores almacenados cuando se pierde la alimentación, esta dispone de 1 [KB] de almacenamiento y las especificaciones garantizan una vida útil de al menos 100000 operaciones. Para hacer uso de esta Arduino tiene incorporado la librería necesaria la cual debe ser incluida al inicio del programa.

### **3.5.4 Texto a braille y control de celdas**

Esta parte del proyecto es la más importante, ya que es la encargada de traducir el texto e interpretarlo en Braille por lo cual se encarga del control de las celdas braille. Para esto lo primero que se tiene que tomar en cuenta es que para que las celdas braille puedan funcionar estas necesitaran cuatro señales, las cuales son: Strobe , una señal de datos, una señal de reloj y una señal DC que activara las celdas, por lo cual, lo primero que se realizo fue definir una variable byte la cual nos va a permitir almacenar un número de 8 [bits], ahora bien a esta variable se la almacenó como un array, lo cual nos permite almacenar un conjunto de valores a los que podremos acceder con un número índice, de modo que cada letra del alfabeto, así como símbolos números, etc. Estarán definidos en una numeración de ese array como se ve en el Anexo 4, por otro lado, las celdas braille están formadas por 8 [bits] cada bit representa un valor de  $2^n$ , al estar trabajando con celdas de 6 puntos los dos puntos de abajo no se tomarán en cuenta, es así que, para poder representar cualquier letra, numero o símbolo del lenguaje braille tendremos que ver cuáles son los puntos que se elevaran y sumar sus valores para así obtener un número único para cada uno, este número ira de 0 a 255 como se puede ver en la figura 3.20.

Figura3. 20 Conversión de Texto a Braille



Fuente: (Autor)

### 3.6 INTERFAZ HUMANO-MÁQUINA

El usuario tendrá la facilidad de interactuar con el módulo lector braille mediante las celdas braille, las cuales le mostraran toda la información del texto que desean leer , además de esto tendrán acceso al puerto de conexión de la tarjeta SD en donde podrán colocar la tarjeta que contenga el texto que desean leer, también el módulo cuenta con un buzzer que indicara al usuario el momento en que la tarjeta SD haya sido leída correctamente así como cuando el texto a leer haya sido reiniciado , tendrá también acceso en el costado a una botonera la cual les permitirá tener completo control solo el avance o retroceso del texto, finalmente el módulo trabaja con una batería de 9 [V] la cual podrá ser reemplazada de la manera más fácil por el usuario en el caso que esta llegase a agotarse.



## CAPÍTULO 4

### PRUEBAS Y RESULTADOS

En el siguiente capítulo se detallará las pruebas hechas en el módulo lector braille para determinar su rendimiento y si cumple con las condiciones de portabilidad y ergonomía planteadas al comienzo del proyecto, de modo que, para realizar el análisis acerca del rendimiento del módulo lector braille se aplicó una serie de pruebas de laboratorio que permitieron determinar los tiempos de respuesta del módulo, así como, el consumo energético que este posee. Por otro lado, para determinar si el módulo lector braille cumple con las condiciones de portabilidad y ergonomía planteadas se realizaron pruebas de campo con personas que tienen discapacidad visual, para de este modo mediante una encuesta validar la percepción que estas personas obtuvieron del módulo lector braille.

#### 4.1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS LABORATORIO

##### 4.1.1 Tiempo de respuesta del Módulo Lector Braille

Para poder realizar la medición de los tiempos de respuesta de las distintas partes del módulo lector braille se realizó un promedio del tiempo en cada una de las ellas, ya que se tomaron 50 muestras para de este modo obtener valores más exactos de las mismas. Por otro lado, se tiene que tomar en cuenta que el tiempo de encendido del módulo lector braille, abarca lo que tarda el sistema en arrancar, el tiempo que le toma a este reconocer la memoria SD y el tiempo que tarda en abrir el texto asignado. También cabe recalcar que las pruebas del tiempo de encendido se realizaron utilizando memorias SD de clase 4 con distintas capacidades siendo estas de 4,8,16 y 32 [GB], Es así que como se puede observar en la tabla 4.1 los tiempos de encendido utilizando memorias SD de distintas capacidades son prácticamente los mismos, por lo que se puede decir que la capacidad de la memoria SD no afecta en el tiempo de encendido del módulo lector braille.

Tabla4. 1 Tiempos de respuesta

Acción	Tiempo de respuesta [s]
Encendido	6.38
Tiempo de respuesta de celdas para avanzar de letra	2.35
Tiempo de respuesta de celdas para regresar a la letra anterior	2.38
Tiempo de respuesta de celdas resetear el texto	3.02
Apagado	0.8

#### 4.1.2 Consumo energético del Módulo Lector Braille

Para poder medir el consumo energético que posee el módulo lector braille, se procedió a realizar la medición del consumo de corriente del sistema, esta medición se realizó desde la fuente de alimentación del sistema, y, además esta consta de 3 pruebas distintas en diferentes estados del sistema: Primero, se realizó la medición de corriente del sistema cuando a este se lo enciende, luego se midió la corriente cuando el sistema se encuentra en pleno funcionamiento y para finalizar se midió la corriente cuando el sistema recibe un pulso para cambiar de estado sus celdas, los resultados de estas 3 pruebas se pueden observar en la tabla 4.2.

Para la primera prueba, sencillamente se encendió el sistema con todos los elementos conectados y se midió antes que la tarjeta SD sea reconocida.

En la segunda prueba, se midió el sistema cuando este se encontraba en pleno funcionamiento, eso quiere decir que la tarjeta SD ya fue reconocida, el texto de igual manera y las celdas braille se encontraban en funcionamiento

Finalmente, la tercera prueba, se realizó midiendo la corriente que nos proporciona la fuente cuando se genera un pulso en cualquiera de los 3 botones del sistema, los cuales van a generar que las celdas braille cambien de estado.

Tabla4. 2 Consumo de corriente y potencia del módulo lector braille en distintas pruebas

Prueba	Corriente [mA]	Potencia [W]
1ra	105	0.945
2da	122	1.098
3ra	137	1.232

Como se puede observar el consumo que se genera en las distintas pruebas es distinto, esto se debe a que siendo el Arduino Nano el encargado que todo el sistema funcione, tendrá que controlar las distintas acciones que debe realizar el mismo. Por un lado, en la primera prueba cuando el sistema recién está arrancando se puede observar que el consumo es de 0.945 [W], mientras que cuando el sistema se encuentra en pleno funcionamiento y además este recibe un pulso para realizar un cambio de estado en las celdas, su pico de consumo aumentara a 1.233 [W] aproximadamente, esto se va a dar en la tercera prueba, y se debe a que el Arduino nano en ese momento tendrá que procesar más datos. Por otro lado, en la segunda prueba el consumo es de 1.098 [W], que es ligeramente menos que en la tercera prueba, ya que a pesar que el sistema se

encuentra igual en pleno funcionamiento, las celdas se encuentran en un estado estable que consume menos recursos.

De este modo se puede notar que el módulo lector braille cuando se encuentra en su máximo funcionamiento posee un consumo de energía de 1.233 [W], de modo que se puede calcular la duración que tendrá la batería cuando el módulo se encuentre en pleno funcionamiento, para esto se utilizará la ecuación 4.1

$$\text{Duración de Batería} = \frac{\text{Ah de la Batería}}{\text{Consumo de A}} * 0.7 \quad \text{Ec 4.1}$$

**Donde:**

Ah de la Batería = Es la capacidad máxima de corriente que posee la batería, en lo que respecta a las baterías comunes de alcaline su valor es de 600 [mAh]

Consumo de A = Se refiere al consumo de corriente del módulo lector braille

Finalmente se multiplica por 0.7 que es una constante que permite tolerancia a factores externos que pueden afectar de alguna forma la duración de la batería

$$\text{Duración de Batería} = \frac{0.6 \text{ Ah}}{0.137 \text{ A}} * 0.7$$

$$\text{Duración de Batería} = 3.06 [h]$$

Es así como se pudo calcular que la duración de la batería del módulo lector braille será de un máximo aproximado de 3.06 [h], que al realizar la transformación de los 0.06 [h] equivalen a 4[min]. Por otro lado, se tiene que tomar en cuenta que este consumo sería si el módulo se encontrará funcionando al 100% todo el tiempo, por lo cual este tiempo podría variar, por otro lado, se podría aumentar el tiempo de duración de la batería se comprando baterías de mayor potencia.

## 4.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PRUEBA DE CAMPO

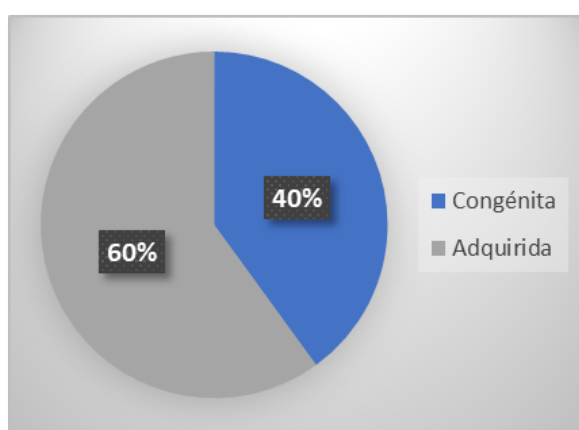
Para la realización de las pruebas de campo, se tiene que tomar en cuenta que estas se realizaron en la Asociación de Ciegos de Pichincha Luis Braille, para esto se les dio a probar el módulo lector braille a 15 personas con discapacidad visual desde los 30 hasta los 75 años de edad, que poseían conocimiento del lenguaje braille, y, al finalizar la prueba del módulo, se procedió a realizar una encuesta para poder determinar la

percepción y las sensaciones que obtuvieron estas personas del uso del módulo lector braille.

Esta encuesta se puede observar en el anexo 1, y consta de 12 preguntas que fueron realizadas de manera asistida, una vez procesada la información obtenida los resultados son los siguientes:

### **Pregunta 1: Que tipo de discapacidad visual posee**

Figura4. 1 Representación porcentual

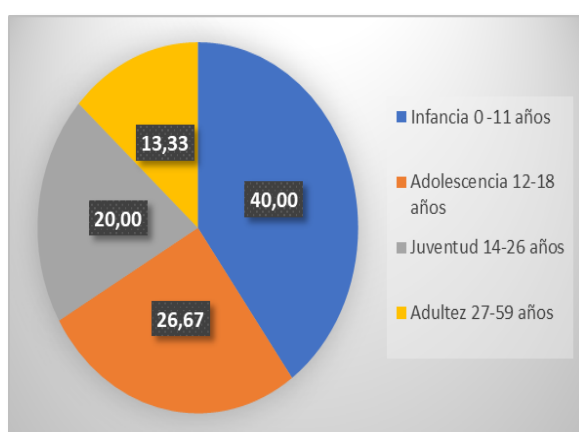


Fuente: (Autor)

Del 100% de las personas encuestadas, se tiene que un 40% de personas poseen discapacidad visual congénita, mientras que un 60% poseen discapacidad visual adquirida predominando así esta última.

### **Pregunta 2: A qué edad comenzó a aprender lenguaje braille**

Figura4. 2 Representación porcentual

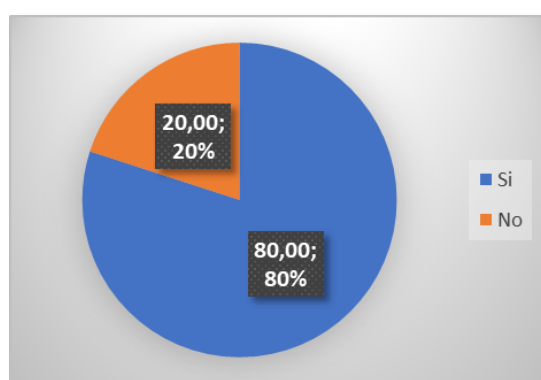


Fuente: (Autor)

Del 100% de las personas encuestadas, se tiene que un 40% de ellas aprende lenguaje braille desde su infancia, siendo este el porcentaje el predominante, por otro lado, se tiene que un 26.67% aprende lenguaje braille en su adolescencia, mientras que un 20% lo aprenden desde su juventud, finalmente se tiene que un 13.33% aprenden ya en su vida adulta. De este modo se puede apreciar que las personas que aprenden el lenguaje braille lo hacen en mayor medida a lo largo de su infancia y adolescencia, mientras que cuanto más edad poseen menor es la cantidad de personas que desean aprender el braille.

### **Pregunta 3: Ha utilizado antes aparatos braille electrónicos**

Figura4. 3 Representación porcentual

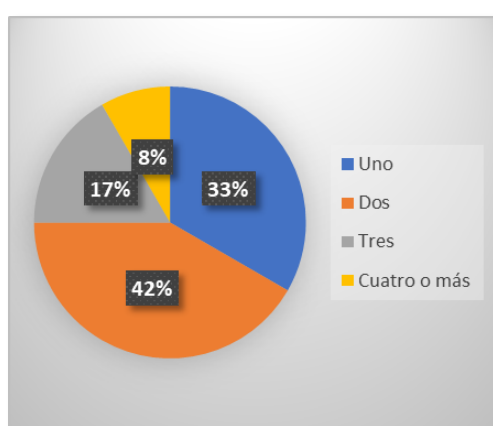


Fuente: (Autor)

Del 100% de las personas encuestadas, se tiene que un 20% de personas no han utilizado antes aparatos braille electrónicos, mientras que un 80% si han utilizado antes algún aparato braille electrónico, predominando así estos últimos.

### **Pregunta 4: Cuantos aparatos braille electrónicos conoce**

Figura4. 4 Representación porcentual

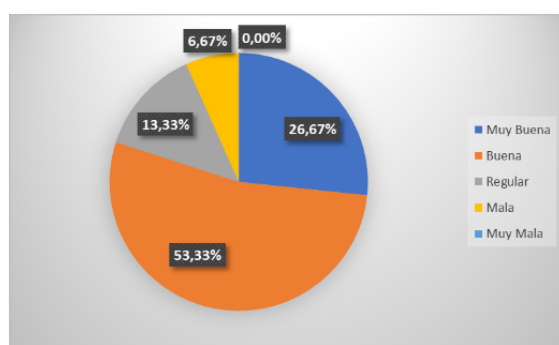


Fuente: (Autor)

Esta pregunta está ligada a la pregunta anterior ya que solo el 80% de las personas encuestadas han utilizado antes algún aparato braille electrónico, obteniendo así que un 33% de ellas conocían solo un aparato braille, por otro lado, se tiene que un 42% conocían dos aparatos braille, mientras que un 17% conocían tres aparatos braille, finalmente se tiene que apenas un 8% conocían cuatro o más aparatos braille.

#### **Pregunta 5:Cuál es su opinión sobre la forma del módulo lector braille**

Figura4. 5 Representación porcentual

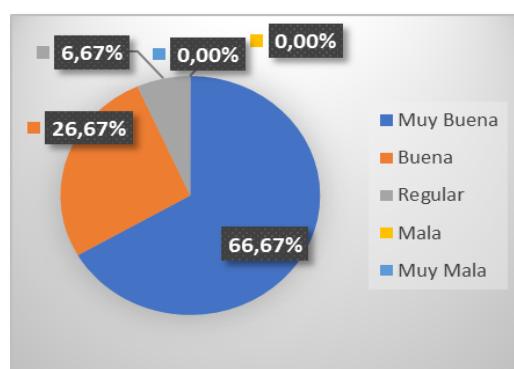


Fuente: (Autor)

En lo que respecta a la forma del módulo lector braille se puede apreciar que un 26.67% de los encuestados creen que esta es muy buena, mientras que un 53.33% creen que es buena, por otro lado, un 13.33% cree el dispositivo tiene una forma regular, y también se puede ver que un 6.67% creen que la forma del dispositivo es mala. De este modo se puede apreciar que el módulo lector braille cuenta con una forma que resulta agradable para las personas, sin embargo, algunas personas creyeron que el dispositivo presentaba una forma muy rectangular.

#### **Pregunta 6:Cuál es su opinión sobre el peso del módulo lector braille**

Figura4. 6 Representación porcentual

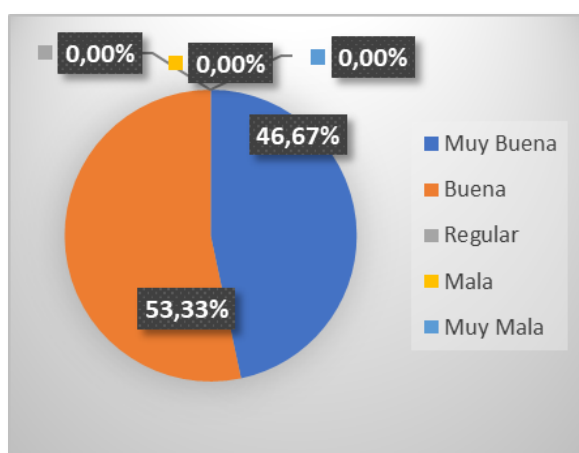


Fuente: (Autor)

En lo que respecta el peso del módulo lector braille se puede apreciar que un 66.67% de los encuestados creen que esta es muy buena, mientras que un 26.67% creen que es buena, por otro lado, un 6.67% cree el dispositivo tiene un peso regular. Se puede demostrar de este modo que en su gran mayoría estuvieron conformes con el peso del módulo lector braille.

**Pregunta 7:Cuál es su opinión sobre la facilidad de uso del módulo lector braille**

Figura4. 7 Representación porcentual

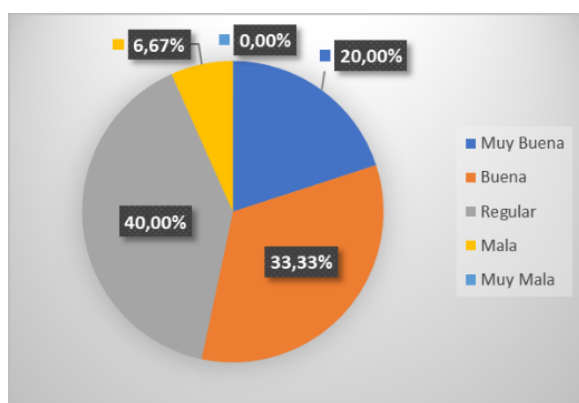


Fuente: (Autor)

En lo que respecta a la facilidad de uso del módulo lector braille se puede apreciar que un 46.67% de los encuestados creen que esta es muy buena, mientras que un 53.33% creen que es buena. De este modo se puede comprobar que el módulo lector braille no tiene mayor complicación al momento de usarlo.

**Pregunta 8: Como fue su experiencia al leer con el uso del módulo lector braille**

Figura4. 8 Representación porcentual

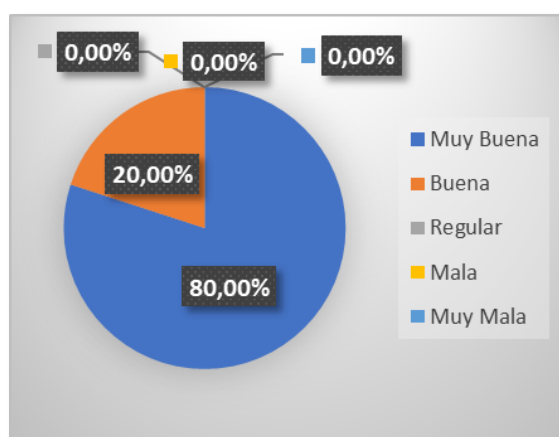


Fuente: (Autor)

En lo que respecta a la experiencia de lectura utilizando del módulo lector braille se puede apreciar que un 20% de los encuestados creen que esta es muy buena, mientras que un 33.33% creen que es buena, por otro lado, un 40% cree que el módulo entrega una experiencia de lectura regular, y, finalmente un 6.67% creen que la experiencia de lectura con el módulo es mala.

**Pregunta 9:Cuál es su opinión sobre el tamaño del módulo lector braille**

Figura4. 9 Representación porcentual

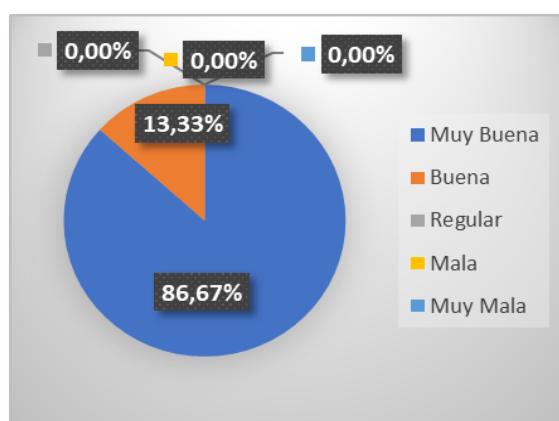


Fuente: (Autor)

En lo que respecta al tamaño del módulo lector braille se puede apreciar que un 80% de los encuestados creen que este es muy bueno, mientras que un 20% creen que es bueno. Por lo cual se puede apreciar que el tamaño del módulo lector braille es el ideal.

**Pregunta 10: Como fue su experiencia sobre la forma de controlar el módulo lector braille**

Figura4. 10 Representación porcentual



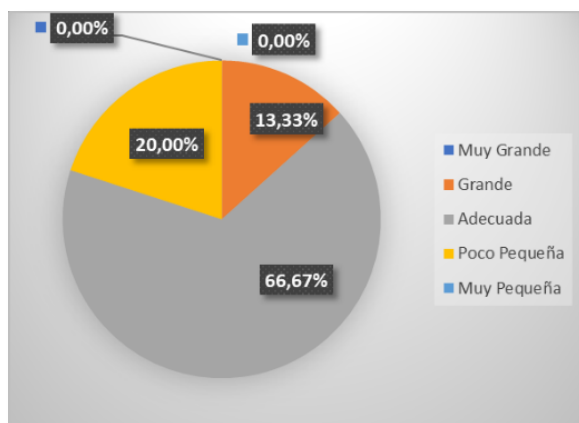
Fuente: (Autor)



En lo que respecta a la forma de control que posee el módulo lector braille se puede apreciar que un 86.67% de los encuestados creen que este es muy bueno, mientras que un 13.33% creen que es bueno ya que no posee mayores complicaciones.

**Pregunta 11:Cuál es su opinión sobre el tipo de memoria que se utilizó para leer los textos digitales**

Figura4. 11 Representación porcentual

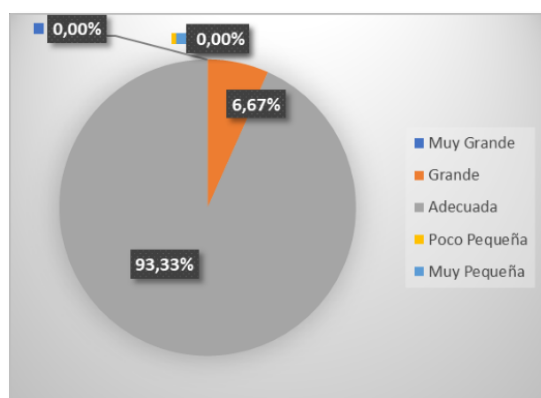


Fuente: (Autor)

En lo que respecta al tipo de memoria que se utilizó para leer los textos digitales en el módulo lector braille se puede apreciar que un 13% de los encuestados creen que este es grande, mientras que un 66.67% creen que es el tipo de memoria adecuado, por otro lado, un 20% creen que es un poco pequeña.

**Pregunta 12: Cual es su opinión sobre el tamaño y la forma de los botones para el control del módulo lector braille**

Figura4. 12 Representación porcentual



Fuente: (Autor)

En lo que tamaño y la forma de los botones para el control del módulo lector braille se puede apreciar que un 6.67% de los encuestados creen que este es grande, mientras que un 93.33% creen son adecuados.

Para realizar un análisis general de la aceptación que obtuvo el módulo lector braille por parte de las personas encuestadas, se procedió a realizar una calificación general de cada una de las encuestas hacia el módulo lector braille, para así determinar si este cumple con las condiciones de portabilidad y ergonomía , de modo que se asignó un puntaje en función a las respuesta de las preguntas que van desde la número 5 hasta la pregunta número 10, tomando en cuenta la respuesta de muy buena como 5 puntos y la respuesta de muy mala como 1 punto.

De modo que los resultados se pueden observar en la tabla 4.3.

Tabla4. 3 Porcentaje de Aceptación del módulo lector braille

<b>Respuesta</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Puntaje</b>
Muy Buena	49	245
Buena	30	120
Regular	9	27
Mala	2	4
Muy Mala	0	0
<b>Puntaje total</b>		396
<b>Porcentaje de aceptación (%)</b>		88%

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

Se desarrollo el módulo lector braille electrónico para personas con discapacidad visual, basado en condiciones de portabilidad y ergonomía, ya que cuenta con un tamaño compacto de 94x149x51.5 [mm], y su peso no supera los 300 [g], este módulo permite a las personas con discapacidad visual obtener un fácil acceso a todo tipo de texto digitales y lo interpreta al lenguaje braille de modo que pueda leer en cualquier momento y lugar.

Al realizar una investigación sobre el lenguaje braille se determinó que este es una de las formas de lenguaje que proporciona a las personas con discapacidad visual una forma fácil de desempeñarse en la sociedad, por otro lado, se pude apreciar que este tipo de lenguaje no solo se limita a representar las letras del alfabeto, ya que es un lenguaje que además consta de signos de puntuación, símbolos dobles, vocales acentuadas, signos de mayúsculas, números, entre otros. Es por esto que el módulo lector braille cumple con estas características del leguaje, entregando así no solo un módulo para leer, sino además una forma de aprendizaje y entrenamiento en el correcto manejo del lenguaje braille.

Se realizó el desarrollo del Hardware y Software necesario para el funcionamiento del módulo lector braille, de esta forma se pudo obtener un sistema capaz de traducir texto digital a lenguaje braille, por otro lado tomando en cuenta que el proyecto está enfocado en la portabilidad y ergonomía el sistema optó por usar un Arduino Uno para su funcionamiento, ya que el microcontrolador es pequeño y entrega todas las herramientas necesarias para el desarrollo del módulo, además de eso dispone un sistema, el cual permite un completo control sobre el texto. Sin embargo, se tiene que tomar en cuenta que el control y manejo de las celdas braille tienen un alto nivel de complejidad, además el voltaje que estas necesitan puede llegar a ser elevado, llegando a valores de 200 [V].

Por medio de las pruebas de campo y los resultados obtenidos en las encuestas realizadas, se llegó a la conclusión de que el módulo lector braille cumple con las

condiciones de portabilidad y ergonomía, ya que este obtuvo un porcentaje de aceptación por parte de las personas con discapacidad visual que probaron el mismo de un 88%, sin embargo cabe recalcar que el módulo lector braille proporcionara una lectura que para personas con un alto dominio del lenguaje braille puede resultar un tanto lenta ya que este se desplaza por el texto letra por letra.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Al momento de insertar o retirar la memoria SD que contiene el texto que se desea leer, es muy importante percatarse que el módulo lector braille se encuentre apagado, ya que de otra forma esto puede generar que la memoria SD se quemara, o deje de funcionar correctamente

Si se desea trabajar con las celdas braille B11 es muy importante tener mucho cuidado con estas ya que son sumamente delicadas y trabajan con voltajes elevados, por lo cual al mínimo pico de corriente pueden llegar a quemarse

Se podría mejorar la velocidad de lectura de las personas con discapacidad visual, si se aumenta el número de celdas con las que se trabaja, tenemos que tomar en cuenta que esto podría aumentar el tamaño del módulo lector braille y aumentar el consumo de energía.

## REFERENCIAS

- Arduino. (2016, noviembre 13). *Interrupciones* .  
<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/13/interrupciones/>
- Arduino Official Store. (2020). *Arduino Nano* . <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>
- BraiBook. (2019). *BraiBook - El primer eReader en Braille de bolsillo*.  
<https://braibook.com/>
- Comisión Braille Española. (2013, diciembre 23). *Documentos técnicos relacionados con otras materias — Web de la ONCE*. <https://www.once.es/servicios-sociales/braille/documentos-tecnicos/documentos-tecnicos-relacionados-con-otras-materias/documentos-tecnicos-relacionados-con-otras-materias>
- CONADIS. (2020). *Estadísticas de Discapacidad*.  
<https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-de-discapacidad/>
- Flores Gabriel. (2019, abril 12). *Libros en braille, un formato que se publica poco en el país | El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/tendencias/libros-formato-braille-publicacion-ecuador.html>
- Geek Factory. (2020). *Módulo socket tarjeta SD - Geek Factory*.  
<https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos-para-desarrollo/modulo-socket-tarjeta-sd/>
- Gote, A., Kulkarni, T., Jha, S., & Gupta, S. (2020). A Review of Literature on Braille Tab and the Underlying Technology. *ICDCS 2020 - 2020 5th International Conference on Devices, Circuits and Systems*, 333–335.  
<https://doi.org/10.1109/ICDCS48716.2020.243611>
- HIMS. (2019a). *Escarabajo inteligente - HIMS inc.* <https://hims-inc.com/product/smart-beetle/>
- HIMS. (2019b). *QBraille XL - Perkins híbrido de 40 celdas y pantalla braille QWERTY | ÉL*. <https://hims-inc.com/product/qbraille-xl/>

- Hossain, S., Raied, A. A., Rahman, A., Abdullah, Z. R., Adhikary, D., Khan, A. R., Bhattacharjee, A., Shahnaz, C., & Fattah, S. A. (2019). Text to Braille Scanner with Ultra Low Cost Refreshable Braille Display. *GHTC 2018 - IEEE Global Humanitarian Technology Conference, Proceedings*, 1–6.  
<https://doi.org/10.1109/GHTC.2018.8601552>
- Hughes, B. (2011). Movement kinematics of the braille-reading finger. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 105(6), 370–381.  
<https://doi.org/10.1177/0145482x1110500608>
- Ismael Martínez-Liévana, & Delfina Polo Chacón. (2004). *Guía didáctica para la Lecto-escritura braille*.  
[http://bibliorepo.umce.cl/libros\\_electronicos/diferencial/edtv\\_30.pdf](http://bibliorepo.umce.cl/libros_electronicos/diferencial/edtv_30.pdf)
- José, J., & Corral, B. (2015). *Para facilitar el aprendizaje de la lectura y la escritura de niños no videntes Diseño de material didáctico Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Universidad del Azuay*.  
<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6014/1/12333.pdf>
- Juan Antonio Pascual Estapé. (2016, diciembre 26). *Qué tipo de tarjetas microSD existen y cuál elegir para tu móvil | Tecnología - ComputerHoy.com*.  
<https://computerhoy.com/noticias/hardware/que-tipo-tarjetas-microsd-existen-cual-elegir-tu-movil-44050>
- Judith Martínez. (2019, marzo 21). *Historia de braille. Historia de Braille: el código de...* | by Judith martinez | Medium. <https://medium.com/@linkbuildme/historia-de-braille-21a588951324>
- Legge, G. E., Madison, C. M., & Mansfield, J. S. (1999). Measuring Braille reading speed with the MNREAD test. *Visual Impairment Research*, 1(3), 131–145.  
<https://doi.org/10.1076/vimr.1.3.131.4438>
- Marcet, A., Jiménez, M., & Perea, M. (2016). Why braille reading is important and how to study it / *Por qué es importante la lectura en braille y cómo estudiarla. Cultura y Educación*, 28(4), 811–825.  
<https://doi.org/10.1080/11356405.2016.1230295>
- Sandoval Chunga María Carmen. (2015, febrero 17). *Educación Inclusiva: Discapacidad Visual: Módulo V el sistema Braille*.

[https://es2.slideshare.net/CarmenSandovalChunga/educacin-inclusiva-discapacidad-visualmdulo-v-el-sistema-braille?from\\_action=save](https://es2.slideshare.net/CarmenSandovalChunga/educacin-inclusiva-discapacidad-visualmdulo-v-el-sistema-braille?from_action=save)

Srija, S., Kawya, P., Reddy, T. A., & Dhanalakshmi, M. (2020). Raspberry Pi Based Wearable Reader for Visually Impaired People with Haptic Feedback. *Proceedings of the International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems, ICESC 2020*, 257–260.  
<https://doi.org/10.1109/ICESC48915.2020.9156005>

Villanueva López, C., Eusebio Leyba, J., & Peralta Sánchez, V. (2005). Las clasificaciones de la enfermedad y la discapacidad de la OMS. *Fisioterapia*, 27(5), 274–283. [https://doi.org/10.1016/S0211-5638\(05\)73450-7](https://doi.org/10.1016/S0211-5638(05)73450-7)

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### ENCUESTA REALIZADA EN LA PRUEBA DE CAMPO

Esta encuesta se encuentra dirigida a personas con discapacidad visual que tengan conocimiento sobre el lenguaje braille, para de este modo poder determinar la percepción que ellos obtienen sobre el módulo lector braille

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Edad:** \_\_\_\_\_

**Genero:**

☐ Masculino

☐ Femenino

**Dirección:** \_\_\_\_\_

**Institución:** \_\_\_\_\_

**1) Qué tipo de discapacidad visual posee**

☐ Congénita

☐ Adquirida

☐ Baja visión leve

☐ Baja visión moderada

☐ Baja visión severa

☐ Ceguera

**2) A qué edad comenzó a aprender lenguaje braille**

**3) Ha utilizado antes aparatos braille electrónicos**

☐ Si

☐ No

**4) Cuantos aparatos braille electrónicos conoce**

**5)Cuál es su opinión sobre la forma del módulo lector braille**

☐ Muy Buena

☐ Buena

☐ Regular

☐ Mala

☐ Muy mala

**6)Cuál es su opinión sobre el peso del módulo lector braille**

☐ Muy Buena

☐ Buena

☐ Regular

☐ Mala

☐ Muy mala

**7)Cuál es su opinión sobre la facilidad de uso del módulo lector braille**

☐ Muy Buena

☐ Buena

☐ Regular

☐ Mala

☐ Muy mala

**8) Como fue su experiencia al leer con el uso del módulo lector braille**



- ☐ Muy Buena
- ☐ Buena
- ☐ Regular
- ☐ Mala
- ☐ Muy mala

**9)Cuál es su opinión sobre el tamaño del módulo lector braille**

- ☐ Muy Buena
- ☐ Buena
- ☐ Regular
- ☐ Mala
- ☐ Muy mala

**10) Como fue su experiencia sobre la forma de controlar el módulo lector braille**

- ☐ Muy Buena
- ☐ Buena
- ☐ Regular
- ☐ Mala
- ☐ Muy mala

**11)Cuál es su opinión sobre el tipo de memoria que se utilizó para leer los textos digitales**

- ☐ Muy Grande
- ☐ Grande
- ☐ Adecuada
- ☐ Poco Pequeña
- ☐ Muy Pequeña

**12)Cuál es su opinión sobre el tamaño y forma de los botones para el control del módulo lector braille**

- ☐ Muy Grande
- ☐ Grande
- ☐ Adecuada
- ☐ Poco Pequeña
- ☐ Muy Pequeña

## ANEXO 2

### FOTOS PRUEBA DE CAMPO

